

# **ANÁLISE DA CIRCULAÇÃO RODOVIÁRIA URBANA COM RECURSO À MODELAÇÃO DE TRÁFEGO**

**LUÍS PAULO RAMALHO FERREIRA DA SILVA**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM VIAS DE COMUNICAÇÃO**

---

Professora Doutora Sara Maria Pinho Ferreira

---

Eng.<sup>a</sup> Cristina Alexandra Teixeira Vilarinho

JUNHO DE 2018

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2017/2018**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2017/2018 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2018.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

À Minha Família

*Esforço, Dedicação, Devoção e Glória*  
*Desconhecido*



## **AGRADECIMENTOS**

Numa primeira instância quero agradecer à Professora Doutora Sara Maria Pinho Ferreira pela cuidada leitura e respetivas correções do presente documento, sem duvida que não poderia ter tido uma melhor orientação. Uma palavra também para o apoio, conhecimento e ajuda transmitidos durante toda esta fase.

À Engenheira Cristina Alexandra Teixeira Vilarinho tenho de prestar os meus agradecimentos por toda a orientação, ajuda na concretização da presente dissertação e integração no ambiente empresarial. Sem o seu contributo, o trabalho realizado não teria sido o mesmo.

A todos os membros integrantes da Divisão Municipal de Gestão da Mobilidade e Tráfego por todo o apoio e boa disposição demonstrados durante todo este percurso, não esquecendo a Camara Municipal do Porto pela a oportunidade única que me proporcionou.

Ao Professor Doutor José Pedro Maia Pimentel Tavares, por todo o aconselhamento, ajuda, transmissão de conhecimentos, orientação e amizade ao longo de todo o processo. Sem o Professor nada disto seria possível.

Ao Professor Doutor António José Fidalgo do Couto por me aconselhar sempre da melhor forma e pela amizade demonstrada.

À empresa PTV pela licença do software disponibilizada e pela resposta rápida a todas as questões.

Aos meus colegas Carlo Patrício Pereira Cadete, Diogo Manuel Pereira dos Santos, Jorge Maia Aroso Pedra, Luís André Correia Pereira, Miguel da Silva Maia Ferreira Pinto, Pedro Moisés Teixeira Figueiredo da Silva, Rui Filipe Tavares de Pina, Sofia Manuela Félix Barros e Tiago Manuel de Melo Queirós Ribeiro por todas as vivências que jamais serão esquecidas.

Aos meus amigos e família obrigado por todo o apoio e otimismo transmitidos.

Ao meu irmão por ser o companheiro de todas as horas.

Aos meus pais pelo exemplo, pela ajuda, pelo sacrifício e por todos os bons valores transmitidos. São sem duvida o melhor alicerce possível para esta estrutura.

À Sónia pela ajuda, companheirismo, amizade e amor. A sua presença foi peça chave da presente dissertação.



## **RESUMO**

Atualmente a Engenharia de Tráfego assume-se como uma área em desenvolvimento e progressão. Esta área encontra-se em crescendo muito por causa da utilização e aplicação dos modelos de simulação de tráfego. Estes modelos são uma importante ferramenta de apoio para o teste e análise de problemas associados a redes viárias. Com a utilização dos modelos em questão mitiga-se a dificuldade de realização de experiências no sistema real e aumenta-se a possibilidade de teste a distintas alternativas de um modo mais seguro e económico.

O presente estudo, foi realizado em ambiente empresarial na Câmara Municipal do Porto. O objetivo do estudo consiste na aplicação do modelo de macrossimulação Visum á zona do Carvalhido, pertencente à cidade do Porto. O estudo que aqui se apresenta, foi realizado de forma a avaliar a situação existente na área já referida, mas também, testar alterações para a rede viária existente. Desta feita a análise em questão foi realizada com recurso a dados fornecidos pela Divisão Municipal de Gestão da Mobilidade e Tráfego.

A utilização do software Visum da PTV Group, assumiu-se como bastante produtiva devido às ferramentas que o programa fornece aos seus utilizadores, sendo que se torna bastante intuitiva a sua utilização.

O teste de soluções a possíveis alterações na rede viária consistiu em 3 cenários distintos e independentes, resultantes de propostas desenvolvidas pela Divisão Municipal já mencionada. A análise de resultados foi concretizada com recurso a alguns indicadores de mobilidade, algo que facilitou o processo.

Numa fase posterior, foi realizada uma comparação entre os resultados apresentados para cada cenário, face ao cenário real, algo que permitiu esclarecer quais as vantagens e desvantagens afetas à implementação dos cenários em questão.

Os desfechos obtidos não foram os esperados já que, apenas um cenário se mostrou eficiente face aos resultados alcançados para os 3 cenários testados.

**PALAVRAS-CHAVE:** modelo de simulação macroscópico, Visum, Carvalhido, modelos de simulação, indicadores de desempenho.





## **ABSTRACT**

Currently, Traffic Engineering is an area of development and progression. This area is growing a lot due to the use and application of traffic simulation models. These models are an important support tool for the testing and analysis of problems associated with road networks. The use of the models in question mitigates the difficulty of carrying out experiments in the real system and increases the possibility of testing different alternatives in a safer and cheaper way.

The present study was carried out in a business environment in the City Hall of Porto. The objective of the study is to apply the Visum macrossimulation model to the Carvalhido zone, which belongs to the city of Porto. The study presented here was carried out in order to assess the situation in the area already mentioned, but also to test changes to the existing road network. This analysis was carried out using data provided by the Municipal Mobility and Traffic Management Division. The test of solutions to possible changes in the road network consisted of 3 distinct and independent scenarios, resulting from proposals developed by the Municipal Division already mentioned. The results analysis was carried out using some mobility indicators, which facilitated the process.

Visum of the PTV Group, the software used in this study, was useful enough to achieve the intended objective.

In a later stage, a comparison was made between the results presented for each scenario, in relation to the real scenario, which made it possible to clarify the advantages and disadvantages of implementing the scenarios in question. The result weren't the expected. Only one of the scenarios tested was capable of generate good solutions to the zone in analysis.

The results obtained were not as expected since only one scenario was efficient in relation to the results achieved for the 3 scenarios tested

**KEY WORDS:** macroscopic simulation model, Visum, Carvalhido, simulation models, performance indicators



## ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS .....	I
RESUMO .....	III
ABSTRACT .....	V
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. PREÂMBULO .....	1
1.2. DESCRIÇÃO E OBJETIVOS DA TESE .....	3
1.3. ORGANIZAÇÃO DA TESE .....	3
<b>2. MODELAÇÃO .....</b>	<b>5</b>
2.1. O INÍCIO DA MODELAÇÃO .....	5
2.2. FASES DA MODELAÇÃO .....	6
2.2.1. CALIBRAÇÃO .....	7
2.2.1.1. ÍNDICE GEH .....	8
2.3. CLASSIFICAÇÃO DOS MODELOS DE TRÁFEGO .....	9
2.3.1. MACROSSIMULAÇÃO .....	10
2.2.1.1. VISUM .....	11
2.4. INDICADORES DE MOBILIDADE .....	12
<b>3. CASO DE ESTUDO .....</b>	<b>15</b>
3.1. PREÂMBULO .....	15
3.2. SINISTRALIDADE NA ZONA DE ESTUDO .....	16
3.3. DEFINIÇÃO DA ZONA DE ESTUDO .....	18
3.4. OBTENÇÃO DA REDE E RESPECTIVO CORTE .....	18
3.4.1. HOMOGENEIZAÇÃO DAS CORRENTES DE TRÁFEGO .....	21
3.5. AFETAÇÃO DA ZONA DO CARVALHIDO .....	22
3.6. ANÁLISE DOS RESULTADOS MODELADOS .....	28
3.7. CARACTERIZAÇÃO DOS INDICADORES DE DESEMPENHO .....	31
<b>4. CENÁRIOS .....</b>	<b>35</b>
4.1. INTRODUÇÃO .....	35
4.2. CENÁRIO 1 .....	35
4.2.1. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS .....	40

<b>4.3. CENÁRIO 2</b> .....	41
4.3.1. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS .....	44
<b>4.4. CENÁRIO 3</b> .....	45
4.4.1. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS .....	46
 <b>5. CONCLUSÃO</b> .....	 49
 <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	 49

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Fases da modelação (Tavares,2003) .....	6
Figura 2:Tipo de Ocorrência Carvalhido .....	16
Figura 3: Localização de sinistros na zona de estudo .....	17
Figura 4: Tipo de Ocorrência Porto .....	17
Figura 5: Zona de estudo .....	18
Figura 6: Rede que contempla as paragens, rotas e horários associados aos autocarros da STCP (Fonte: STCP) .....	19
Figura 7:janela alusiva à funcionalidade subnetwork generator (Fonte: software Visum).....	20
Figura 8: Rede da zona em estudo (Fonte: software VISUM) .....	21
Figura 9: <i>Procedure sequence</i> Fase 1(Fonte: software VISUM) .....	22
Figura 10: Afetação na 1ª fase (Fonte: software VISUM) .....	23
Figura 11: Prt Settings.....	24
Figura 12: Período de análise de tempo afeto ao Transporte publico ponta da manhã (Fonte: software VISUM) .....	24
Figura 13: Período de análise de tempo afeto ao transporte publico ponta da tarde (Fonte: software VISUM) .....	25
Figura 14: Homogeneização do tráfego (Fonte: software VISUM) .....	26
Figura 15: Afetação da rede em estudo HPM (Fonte: software VISUM) .....	27
Figura 16: Afetação da rede em estudo HPT.....	28
Figura 17:Intersecções analisadas (Fonte: software Visum) .....	32
Figura 18: Numero de codificação das intersecções analisadas .....	32
Figura 19:Representação do ramo de ligação a acrescentar (Fonte: Software Visum) .....	36
Figura 20:Troco alvo de requalificação (Fonte: software Visum).....	36
Figura 21: Novos arruamentos (Fonte: software Visum). .....	37
Figura 22: Ruas sem saída, após Rua Arquiteto Joaquim Andresen (Fonte: Google Maps).....	38
Figura 23: Alterações Rua Arquiteto João Andresen (Fonte: software Visum) .....	38
Figura 24: Cenário 1 (Fonte: software Visum) .....	39
Figura 25: Afetação Cenário 1, período tarde e manhã.....	41
Figura 26: Troço alvo de alteração de sentidos .....	42
Figura 27: Diagrama de fases recalculado (Fonte: software Visum) .....	43
Figura 28: Movimentos permitidos na fase 1 (Fonte: software Visum) .....	43
Figura 29: Movimentos permitidos na fase 2 (Fonte: software Visum).....	43
Figura 30: Afetação Cenário 2 HPtarde e Hpmanhã (Fonte: software Visum).....	45
Figura 31: Identificação das fases (Fonte: software Visum) .....	46
Figura 32:Diagrama de fases utilizado (Fonte: software Visum) .....	46
Figura 33: A Afetação Cenário 3 HPtarde e Hpmanhã (Fonte: software Visum) .....	47



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Índice GEH .....	9
Tabela 3: GEH- hora de ponta da manhã .....	29
Tabela 4: GEH – hora de ponta da tarde .....	30
Tabela 5: Indicadores de desempenho para a hora de ponta da manhã .....	33
Tabela 6: Indicadores de desempenho para a hora de ponta da tarde .....	33
Tabela 7: Indicadores de desempenho para o cenário 1 – HPM.....	40
Tabela 8: Indicadores de desempenho para o cenário 1 – HPT .....	40
Tabela 9: Indicadores de desempenho para o cenário 2 – HPManhã .....	44
Tabela 10: Indicadores de desempenho para o cenário 2 - HPTarde .....	44
Tabela 11: Indicadores de desempenho para o cenário 2 - HPManhã .....	46





# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1. PREÂMBULO

A modelação do tráfego, cada vez mais, vem assumindo um papel fulcral e fundamental no planeamento e tomada de decisões, quer no ordenamento das cidades quer na gestão destas, no que à mobilidade diz respeito. Através de um modelo experimental, é possível após a identificação de um dado problema, simular e testar soluções num plano anterior à implementação destas. Esta característica é em parte a principal força associada à modelação, já que experiências no sistema de transporte real são impraticáveis devido a toda a logística e custos que acarretam.

Assim de uma forma mais simplista será possível dizer que a modelação permite através da análise e tratamentos de dados, avaliar a qualidade de uma ou mais soluções.

Pode referir se ainda que a modelação compreende quatro passos importantes a:

- Planeamento, tratamento e recolha de dados;
- Desenvolvimento de modelos e técnicas de modelação;
- Calibração e validação do modelo;
- Aplicação e avaliação dos resultados da modelação.

Nos últimos tempos é possível perceber que o uso do transporte individual é bastante recorrente para a população em geral. Este facto tem como consequência, o congestionamento, principalmente em grandes polos atrativos como são os casos de grandes cidades que têm bastantes serviços e bens associados.

Caracterizando as viagens de transporte individual como procura e o sistema viário como oferta é possível afirmar que, de forma geral nos grandes centros urbanos, a realidade atual corresponde a um cenário em que a procura excede a oferta, e daí a formação de congestionamento.

Perante tudo isto, a economia das grandes cidades vê-se afetada já que o congestionamento pode ser considerado diretamente proporcional ao aumento de tempo de viagem, aumento da poluição e aumento da probabilidade de acidente.

Há certas formas de avaliar e caracterizar um sistema rodoviário sendo que o recurso a certos indicadores de desempenho é uma forma bastante plausível de o fazer. O uso de indicadores e a quantidade existente dos mesmos, poderá levar a uma certa indecisão de quais utilizar e que peso na decisão cada um deles deverá ter. No entanto como já previamente referido, o uso destes trará sempre mais valias na avaliação e caracterização de um problema ou solução de um sistema rodoviário. Exemplos de indicadores são:

#### **Indicadores de eficiência**

- Congestionamento
- Comprimento de filas de espera
- Regularidade de transporte público
- Tempo de viagem
- Velocidade

#### **Indicadores de segurança**

- Distância entre veículos;
- N° de acidentes
- N° de conflitos

#### **Indicadores ambientais**

- Emissões de gases poluentes
- Consumo de combustível

Será importante referir que a presente dissertação tem como foco principal a macrossimulação de uma zona de rede urbana e consequente análise de resultados. Como o objetivo da análise é a avaliação de cenários distintos em termos de gestão de tráfego, os indicadores selecionados são os associados à eficiência. Estes indicadores assumem um papel importante para caracterizar a situação existente e numa fase posterior avaliar os resultados de cada uma das propostas.

## **1.2. DESCRIÇÃO E OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO**

Nos últimos anos a cidade do Porto tem vindo a sofrer alterações a diversos níveis que se refletem no sistema de transportes. O crescente turismo, mudanças no estilo de vida da população nomeadamente na utilização de outros meios de transporte para além do transporte individual, são exemplos de situações que têm impacto na dinâmica da cidade e consequentemente no sistema de transportes. Nesse sentido, a modelação do tráfego é uma ferramenta importante para analisar diferentes soluções que melhor se ajustem a estes novos cenários.

Neste contexto, a Câmara Municipal do Porto (CMP) identificou a zona do Carvalhido como zona crítica a analisar na medida em que tem apresentado grandes níveis de congestionamento e consequente mau funcionamento da malha viária. Por outro lado, a CMP prevê para esta zona alterações à rede que podem ser de vários tipos e que devem ser testadas e avaliadas previamente ao seu funcionamento. Beneficiando de um trabalho existente que tem como finalidade a construção de uma matriz origem/destino para toda a cidade do Porto o objetivo fulcral do presente documento será descrever todo o processo de modelação, com recurso ao software da PTV (VISUM), para a zona atrás referida.

Assim, será realizada uma análise numa primeira instância à cidade do Porto como um todo e numa fase posterior à área envolvente da zona do Carvalhido de forma a testar soluções e analisar os resultados que estas despertam.

Para o desenvolvimento e aplicação do presente estudo foi necessário apreender os modelos de simulação em geral, para ser possível obter conhecimento para a aplicação destes. Para tal, numa fase inicial realizou-se uma pesquisa tendo como base o tema e o modelo em questão, pesquisa essa que foi relevante para a seleção do modelo a utilizar. De seguida foi realizada uma investigação da zona em questão e área envolvente, incluindo estudos (propostas e soluções) realizados no passado bem como as alterações que o local tem vindo a ser alvo nos últimos anos.

Posteriormente foi essencial efetuar uma aprendizagem associada aos modelos de simulação aplicados (VISUM), não só ao nível da utilização de ferramentas do software, mas também compreender como o software trata e processa os dados, para se desenvolver o presente trabalho.

## **1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO**

O capítulo 1 tem como finalidade a introdução e breve exposição do tema em questão tendo presente a realidade existente.

No capítulo 2 há o primeiro contacto com a modelação de tráfego, uma breve introdução histórica, descrição e explicação sobre o que é a modelação de tráfego e com quais princípios se guia. Também estão presentes no segundo capítulo definições que são necessárias para a realização do presente estudo tais como: a descrição do índice GEH (assim denominado devido a Geoff E. Havers) e qual a sua finalidade e também os indicadores de mobilidade, mais em concreto os indicadores de eficiência.

A modelação da zona do Carvalhido propriamente dita e a caracterização desta são apresentadas no capítulo 3. É neste capítulo que se faz a avaliação do cenário existente e se apresentam resultados para a modelação que será feita para uma área que como já referido apresenta alguns sinais alarmantes em relação à circulação

O 4º Capítulo concentra as alterações propostas para a zona do Carvalhido e os cenários que se encontram associados a cada uma destas alterações. Nesta fase do documento também se visualizam os resultados que cada cenário proporciona.

O carácter conclusivo da dissertação ganha corpo no quinto e último capítulo. O capítulo final sumariza todo o trabalho, considerações e ilações que foram possíveis de realizar através do presente estudo.

# 2

## MODELAÇÃO

### 2.1. O INÍCIO DA MODELAÇÃO

Um dos primeiros trabalhos desenvolvidos na área da modelação, iniciou-se em 1955 por Lighthill e Whitham, com a apresentação de um modelo baseado que retrata o tráfego de veículos como um fluido. (Rodrigues,2011)

Depois desta fase, a descrição através de modelos matemáticos do fluxo de tráfego, tornou-se objeto de estudo, debate e pesquisa para os engenheiros de tráfego. Este processo de pesquisa e debate revelou-se bastante produtivo, uma vez que, originaram-se bastantes e diferentes modelos de tráfego, descrevendo diversos aspetos das operações de fluxo de tráfego.

Certos modelos consideram o comportamento espaço-temporal por parte dos condutores de forma individual e sob a influência de veículos na sua proximidade (modelos microscópicos), outros examinam a conduta dos condutores sem distinguir o comportamento tempo-espacial destes (modelos mesoscópicos) e por último, outros analisam o tráfego como um fluxo coletivo de veículos.

Para além das diferenças entre o nível de detalhe associado aos modelos de tráfego (microscópicos, mesoscópicos ou macroscópicos), o facto de terem existido variadas pesquisas, originou também várias opiniões sobre a modelação com o nível de detalhe macroscópico, sendo que foram levantadas várias questões sobre qual a melhor e correta forma de realizar a descrição do fluxo de tráfego.

As descobertas de Boris Kerner e da equipa de investigadores associados a este resultaram numa maior atenção do público para o tema da modelação com o nível de detalhe macroscópico. (Rodrigues,2011)

Com o aumento da capacidade computacional cada vez mais evidente a resolução de problemas tornou-se mais simples e os resultados obtidos através da modelação das correntes de tráfego ficaram bastante mais fiáveis.

Desta feita a modelação de correntes de tráfego e a engenharia de tráfego tendem a crescer e a ganhar cada vez mais força, seja na resolução de problemas e procura de soluções, seja na avaliação do existente.

## 2.2. FASES DA MODELAÇÃO

O processo de modelação, envolve a construção de um modelo que compreende os vários elementos associados à infraestrutura de transporte e aos fluxos de tráfego. O modelo tem como principal objetivo a reprodução das condições de funcionamento associadas a um qualquer sistema viário. O desenvolvimento de um modelo de simulação de tráfego envolve quatro etapas (Vilarinho, 2008):

A primeira etapa é a **Codificação** que tem como intuito a recolha de dados de uma dada rede e a sua transformação em código associado ao modelo em questão, no entanto, esta etapa também contempla uma sub-etapa que se denomina de **Verificação da rede** para a deteção e localização dos erros. A fase posterior denomina-se **Calibração** que tem como função o ajuste dos valores das variáveis do modelo que representam e as condições de operação, sendo que estas devem estar próximas do real. A **Validação** é o processo que avalia o modelo de simulação face à sua representação da realidade e é considerada a terceira etapa. A quarta e última etapa é a **Aplicação do modelo** que tem como foco a avaliação do cumprimento do modelo face a diferentes cenários.

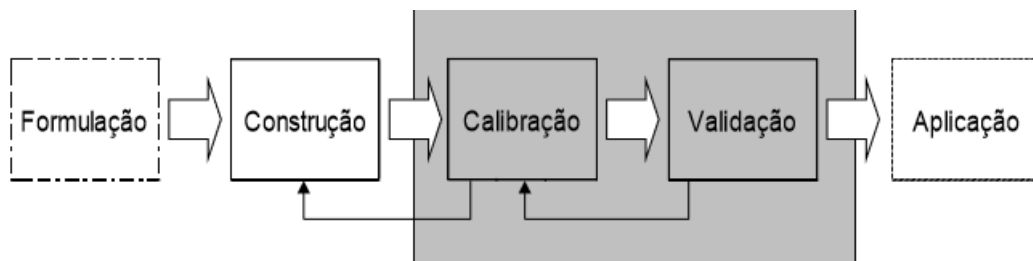


Figura 1: Fases da modelação (Tavares, 2003)

As fases de calibração e validação são extremamente importantes, de mencionar que ambas as fases têm associado um processo iterativo que envolve a análise de variáveis e parâmetros, visando avaliar e comparar o comportamento do modelo em relação ao sistema real. Em suma, são estas duas etapas que atribuem credibilidade ao modelo de tráfego desenvolvido.

A simulação de tráfego permite efetuar uma análise bastante eficiente a uma vasta gama de problemas, problemas esses que seriam muito difíceis de caracterizar sem o recurso a esta. O modelo de simulação de tráfego combina um conjunto de técnicas que permitem simular, ou seja imitar a realidade de uma qualquer rede. Todo este processo possibilita a realização de análises e previsões quanto à realidade.

Com o recurso à simulação é possível substituir as experiências no sistema real, algo que não é fácil de implementar, por expressões matemáticas e analíticas com recurso a programas de cálculo automático.

Como já referido uma das grandes vantagens associadas dos modelos de simulação é sem dúvida a não perturbação do sistema viário real, seja para testar novas técnicas e soluções ou para estudo do existente face aos dados recolhidos.

Os modelos de simulação de tráfego também possuem uma funcionalidade que permite efetuar a avaliação relativa das variáveis envolvidas no processo e a sua relação. Para além disso também possuem a capacidade para disponibilizar a informação temporal e espacial da rede, tanto a nível de valores médios como dos desvios associados.

É importante referir que a modelação, também apresenta limitações. O processo de modelação por vezes é bastante demorado e quanto maior é o detalhe, maiores são as dificuldades e maiores terão de ser os cuidados que o modelador tem que ter na abordagem tanto ao nível das variáveis como da representação

da realidade no modelo. Por outro lado, nem sempre é fácil obter dados e informação fidedigna sobre a realidade que possam garantir a fiabilidade do modelo.

As etapas que incluem a calibração e a validação são sem dúvida as etapas que permitem e conferem uso ao modelo em questão, ou seja, quando estas etapas são realizadas de forma deficiente o modelo não terá um elevado nível de confiança. Em suma, a utilização de modelos de simulação de tráfego obriga a que exista conhecimento no que diz respeito às teorias usadas e às limitações do software em uso.

O avanço tecnológico que o mundo atual experimenta, permite que cada vez mais os erros associados à modelação sejam mitigados. A recolha e tratamento de dados cada vez mais é realizada de uma forma bastante mais simplificada e os softwares de modelação estão mais desenvolvidos e de mais fácil utilização e eficácia.

Desta feita conclui-se que, cada vez mais a modelação é mais acessível e realizada com maior facilidade. Contudo, será sempre necessário pensamento crítico e compreensão da engenharia e conceitos que funcionam como os alicerces de toda a modelação de tráfego.

### 2.2.1. CALIBRAÇÃO

Como atrás referido, um modelo é caracterizado por 4 etapas sendo que a inicial é a codificação e verificação dos erros. Esta etapa caracteriza-se pelo processo descritivo do sistema para que este seja realizado de uma forma automática. Após esta etapa e a devida correção dos erros, o modelo de simulação está capaz de realizar testes.

Apesar de tudo isto, o modelo ainda não apresenta as garantias necessárias, uma vez que não há a certeza que a simulação consiga representar de uma forma correta a realidade pretendida e não outra situação semelhante.

Só a partir da validação é que se pode admitir que o modelo está aceitável e razoavelmente próximo do sistema viário real. A validação é um processo que contempla um método iterativo o qual tem associado a calibração dos parâmetros associados ao modelo e a comparação do comportamento do mesmo com o sistema real.

Na calibração, as variáveis do modelo vão sofrendo sucessivos ajustes para que os valores e resultados modelados se aproximem o mais possível aos dados obtidos na rede real. Para dar início a este processo é necessário definir as variáveis que serão calibradas para que desta feita, seja possível efetuar a comparação dos dados obtidos com a situação real.

Às variáveis selecionadas para funcionarem como parâmetros de calibração, estão associados certos critérios que permitem balizar e caracterizar os limites aceitáveis para o modelo em questão. Uma vez que os parâmetros se encontrem dentro da gama de valores considerada satisfatória, o modelo pode considerar-se calibrado. Daqui depreende-se que o nível de exatidão associado a cada modelo está bastante interligado aos critérios que o modelador adota, algo que leva a considerar que cada modelo seja em certa parte subjetivo.

Pode então definir-se calibração de um modelo como um processo que compreende a correção dos valores associados às variáveis responsáveis pela representação das condições de operação, com o intuito das estimativas relacionadas com as medidas de desempenho calculadas pelo modelo descreverem a realidade.

A calibração pode, no entanto, ser realizada de uma forma a que os resultados dos valores da simulação se aproximem dos reais de uma forma incoerente e forçada. Para modelos desenvolvidos nestas condições a utilidade e validade destes é nula.

É importante referir também que, a etapa afeta à validação tem um carácter igualmente fulcral á semelhança da calibração, no que diz respeito a legitimidade de utilização do modelo desenvolvido. Os dados utilizados na validação e na calibração devem ser distintos.

#### 2.2.1.1. Índice GEH

Existem vários métodos utilizados para efetuar a avaliação dos resultados obtidos através do uso do modelo. Segundo (Vilarinho, 2008) são exemplos destes métodos:

- Cálculo de parâmetros
- Representação gráfica
- Realização de análises estatísticas com os valores das variáveis obtida através da simulação, nos diferentes locais onde existem valores observados

Um exemplo desses métodos que para a presente dissertação se achou ser uma mais valia, é o índice GEH, uma vez que é bastante utilizado em estudos deste tipo. O índice GEH foi desenvolvido na Câmara Municipal de Londres por Geoff Hovers e pode se considerar ser um parâmetro que tem como base o teste estatístico do chi-quadrado consistindo numa comparação entre os volumes modelados e os observados. Segundo (Tavares,2003) esta estatística pode ser calculada para uma dada secção ou então para toda a rede.

De referir que este método empírico deve ser visto como a raiz quadrada do produto da diferença absoluta pela diferença relativa, podendo desta feita considerar-se que a estatística GEH incorpora tanto os erros absolutos como os relativos. A diferença relativa é calculada utilizando a média dos valores observado e modelado no denominador de modo a evitar eventuais problemas de cálculo se algum destes valores for nulo. As equações abaixo mostram a forma de cálculo do GEH:

$$GEH = \sqrt{\frac{2(x_i - y_i)^2}{(x_i + y_i)}} \quad (2.1)$$

OU

$$GEH = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{2(x_i - y_i)^2}{(x_i + y_i)}} \quad (2.2)$$



Com:

$x_i$  – Volume de tráfego simulado para o tempo  $i$ ;

$y_i$  – Volume de tráfego observado para o tempo  $i$ ;

$n$  – Número total de observações.

Para que se possa definir uma ordem de grandeza para o parâmetro GEH e a comparação de volumes observados e modelados deve ser feita tendo em conta que: os arcos com valor igual ou inferior a 5 podem ser considerados com um ajustamento aceitável; para arcos que apresentem valores superiores a 10 é necessária uma maior observação de forma a descobrir o que pode estar na origem do problema.

Tabela 1: Índice GEH

Estatísticas	Critério	Observação
<b>GEH (equação 2.1)</b>	<5	Para uma secção individual
<b>GEH (equação 2.2)</b>	$\geq 85\%$	
<b>GEH (equação 2.1)</b>	<4	Para a soma de várias secções

É também importante referir que a estatística do GEH-quadrado não corresponde nem pode ser interpretado como um teste de Chi-quadrado, uma vez que se refere a uma medida de ajuste entre o modelado e o observado. Os modelos uma vez avaliados apenas do ponto de vista estatístico, não devem ser considerados válidos já que falham na reprodução das observações reais. No entanto deve ter-se em consideração que o modelo embora não exato, é apropriado para o objetivo em que é aplicado.

Apesar das considerações previamente feitas, será necessário expor que existem casos em que, o modelo não cumpre as metas propostas pelo GEH ou outros métodos de avaliação de resultados, mas pode ser considerado admissível. Estes casos ocorrem quando as maiores discrepâncias e diferenças de valores se concentram fora da área principal de estudo. Inversamente, um modelo que obedeça a todos os parâmetros, mas as discrepâncias se apresentem na área principal de estudo, terá de ser definido como inaceitável. (Vilarinho, 2008)

### 2.3. CLASSIFICAÇÃO DOS MODELOS DE TRÁFEGO

Os modelos de tráfego podem ser divididos de acordo com múltiplos critérios: nível de detalhe, funcionamento, escala de aplicação, representação de processos e escala de variáveis independentes.

O nível de detalhe classifica os modelos como microscópicos, mesoscópicos ou macroscópicos. Os primeiros são os mais detalhados e concentram-se por norma em áreas menores, sendo que tratam cada veículo individualmente como uma entidade. Modelos mesoscópicos são modelos intermédios no que a nível de detalhe diz respeito. Estes modelos representam os veículos como pelotões e não como

entidades individuais. Os modelos macroscópicos são os que têm menor nível de detalhe, utilizados em grandes áreas, caracterizam o tráfego como um todo, não fazendo distinção entre os veículos.

Para caracterizar um dado modelo de acordo com o funcionamento terá de se referir que a divisão é feita em modelos analíticos ou de simulação. Sendo que os modelos analíticos estabelecem relações matemáticas entre as diferentes variáveis do sistema e os modelos de simulação caracterizam o tráfego simulando a realidade.

Caracterizar o tráfego abordando o critério de escala de aplicação remete para a dimensão da rede que está em estudo, ou seja, as redes podem ser urbanas ou interurbanas e de segmentos de vias ou de intersecções isoladas.

A classificação de acordo com a representação de processos classifica os modelos como determinísticos ou estocásticos. Os modelos determinísticos utilizam um processo que descreve as variáveis de uma forma analítica. Já os modelos do tipo estocásticos refletem a aleatoriedade e a probabilidade das variáveis intervenientes.

O último critério, isto é, escala de variáveis independentes, faz a divisão dos modelos em variáveis contínuas e discretas, sendo que, as contínuas descrevem as mudanças no tráfego sucessivamente ao longo do tempo. Os modelos que utilizam as variáveis discretas ponderam que as variações no tráfego sucedem com configuração descontínua no tempo.

A informação anterior pode ser apresentada de uma forma mais resumida, dando maior perceção ao assunto em questão de acordo com Hoogeendorn e Bovy (2001):

- Escala de variáveis independentes (contínuas, discretas ou semi-discretas);
- Escala de aplicação (redes, arcos ou nós);
- Representação de processos (estocásticos ou determinísticos);
- Funcionamento (analítico ou simulação);
- Nível de detalhe (macroscópicos, mesoscópicos ou micro/sub-microscópicos)

É necessário referir que a classificação e caracterização dos modelos de tráfego está inteiramente associada ao último ponto abordado em cima. Como tal, a caracterização de cada modelo associa-se de uma forma bastante nuclear ao nível de detalhe. No presente estudo irá ser utilizado um modelo macroscópico, o Visum da PTV, sendo que em seguida será descrito mais detalhadamente.

### 2.3.1. MACROSSIMULAÇÃO

Os modelos com nível de detalhe macroscópico são caracterizados por reproduzir correntes de tráfego ininterruptas, deste modo torna-se possível determinar os valores médios dos parâmetros de tráfego, tais como a velocidade, débitos e concentração

O nível de detalhe macroscópico está associado à modelação de vários arcos e nós em conjunto, na medida em que um modelo macroscópico tem como objetivo caracterizar áreas de considerável dimensão como por exemplo, cidades ou vários quarteirões.

Ao contrário dos modelos microscópicos em que a grande dificuldade na modelação se prende com questões associadas ao número de variáveis envolvidas, nos modelos macroscópicos o principal problema associa-se à grande quantidade de arcos e nós que são considerados na modelação, uma vez que, as áreas de estudo são maiores e consequentemente também a quantidade de arcos e nós.

Este tipo de modelo analisa o fluxo de tráfego como um todo e não considera as características e critérios individuais de fluxo de tráfego. Na representação do processo, os modelos macroscópicos tendem a ser do tipo determinístico, ou seja, a modelação é realizada tendo em conta o movimento de grupos de veículos como o comportamento médio de todos os veículos numa dada secção para um dado período de tempo.

Refere-se a seguir alguns softwares de modelos de macrossimulação segundo (SMARTTEST, 2000):

- BTS (Bottleneck Traffic Simulator);
- FREQ12KRONOS;
- METACOR / METANET;
- NETCELL;
- PASSER II\_02, PASSER III\_98, PASSER IV\_96;
- SATURN;
- TRAF-CORFLOW (Corridor Flow);
- TRANSYT-7F;
- VISTA (Visual Interactive System for Transport Algorithms)
- VISUM

Na secção seguinte apresenta-se o software VISUM por ter sido o utilizado no presente trabalho.

#### 2.2.1.1. VISUM

O Visum é um software de macrossimulação desenvolvido pela empresa PTV. Este software comercial é bastante utilizado para modelação de transportes nos EUA, Brasil e vários países da Europa. Segundo a (PTV AG 2010) o VISUM é um software abrangente e flexível para o planeamento de transportes, modelação de tráfego e gestão de dados das redes de transporte. O VISUM foi projetado com a finalidade de realizar análise multimodal uma vez que este integra e relaciona todos os modos relevantes de transporte (carro, peões, bicicleta, camião, autocarro, metro e comboio) num modelo de rede bastante sólido. O software em questão fornece uma vasta gama de procedimentos de afetação e componentes de modelação em 4 etapas, que incluem abordagens baseadas em atividades associadas ao tipo de estudo pretendido.

Deve notar-se que o software Visum é bastante utilizado em trabalhos académicos devido eventualmente à sua disponibilidade. A licença educacional permite que os estudantes usem o software PTV de forma gratuita. A presente dissertação foi desenvolvida com recurso ao PTV Visum sob licença de estudante.

Outro aspeto que merece ser alvo de reflexão neste ponto é a boa qualidade e quantidade de informação presente no Manual associado ao software em questão que se encontra disponível.

## 2.4. INDICADORES DE MOBILIDADE

A seleção dos indicadores de desempenho mais adequados tendo em conta o objetivo de avaliar e comparar soluções distintas, é uma parte essencial e crucial para a dissertação que aqui se apresenta.

Tendo em conta o objetivo e finalidade da presente dissertação e notando que se trata essencialmente de uma análise a uma zona da cidade do Porto, a escolha dos indicadores recaiu sobre os indicadores gerais associados a uma rede e habitualmente considerados (Ferreira,2008).

Os indicadores de desempenho, que regulamente são utilizados pra estudos deste tipo encontram-se expostos e enunciados na a seguir:

- **Distância total de viagem (veic.km):** este indicador de desempenho que corresponde ao produto entre o volume de tráfego associado a cada arco pelo seu comprimento, somado para todos os arcos da rede durante o período em estudo. Este indicador indica a distância percorrida na rede, durante o período de simulação;
- **Atraso Total(veic.h):** este parâmetro pode ser alcançado de dois modos distintos. O primeiro atenta ao atraso, ou seja, a duração de tempo ao qual o veículo se encontra parado na rede; o outro modo considera o atraso como sendo o tempo em que o veículo não pode andar à velocidade desejada, a designada de velocidade livre de circulação (*free flow speed*).
- **Atraso Médio (veic.h):** Este indicador é responsável por caracterizar a o atraso médio que cada veículo tem num dado cruzamento, sendo que a sua multiplicação pelo volume tráfego em cada cruzamento corresponde ao Atraso Total.
- **Tempo total de viagem (veic.h):** este indicador corresponde à multiplicação do volume de tráfego para cada arco e o tempo de viagem associado, com a soma de todos os arcos durante o período de tempo em análise. Este indicador o tempo total que foi despendido pelos veículos na rede em análise para o período de simulação.
- **Tempo de marcha (veic.h):** o indicador que aqui se apresenta, obtém-se realizando a subtração do tempo total de viagem de cada arco e o tempo de atraso respetivo, fazendo a soma para todos os arcos. Este indicador é bastante útil quando é realizada a comparação de alternativas, visto que permite avaliar a fluidez da rede em questão.
- **Velocidade média global(km/h):** este indicador, remete à velocidade média na rede tal como o tempo de marcha permite também entender se a rede tem um comportamento muito ou pouco fluido. Pode ser obtido pela divisão da distância total de viagem e o tempo total de viagem.
- **Níveis de Serviço:** O HCM define, para qualquer tipo de infraestrutura, 6 níveis de serviço representados por letras de A a F. O nível de serviço associado à letra A corresponde ao regime de escoamento livre com condições de circulação excelentes. Quando as condições de circulação se deterioram, faz-se corresponder aos níveis de serviço B e C, ainda, um escoamento estável. O nível D refere-se quando o escoamento se aproxima da instabilidade. O nível se serviço E associa-se a condições de escoamento instáveis, já que os débitos de tráfego

associados são elevados, com valores perto da capacidade. O ultimo nível de serviço é caracterizado por um escoamento em regime de sobressaturação, correspondente a situações de congestionamento e é representado pela letra F.

- **Volume de tráfego (veic/h):** o indicador que aqui se apresenta, corresponde á unidade de veículos por hora, que passa num dado troço de rede. Este indicador permite aferir qual a procura em cada troço de rede.

Devido ás funcionalidades e resultados disponibilizados pelo software Visum, foram escolhidos como indicadores para avaliar os resultados, o Atraso total, os Níveis de Serviço, o Atraso Médio e o Volume de tráfego

Nas conclusões da presente dissertação será feita uma análise perante o estado atual da rede da zona em estudo e os cenários alternativos testados. Sendo que a utilização dos indicadores descritos será uma mais valia para todo o processo de comparação e discussão de resultados.



# 3

## CASO DE ESTUDO

### 3.1. PREÂMBULO

A cidade do Porto tem características que a fazem ser única e admirável. Uma das características mais apreciadas e referenciadas associa-se à antiguidade e preservação da cidade não só nos edifícios, mas também nas vias de circulação. A preservação dos arruamentos acarreta problemas graves no que diz respeito à hierarquia e traçado viário. A hierarquização viária da cidade não é totalmente clara. Este facto obriga a que, para cada alteração feita no sistema viário, mesmo que se trate de um troço curto, seja necessário um estudo feito com algum cuidado e com uma área envolvente bastante abrangente.

O local em estudo da presente dissertação é a Zona do Carvalhido. Esta zona será modelada com recurso ao software de simulação VISUM. O Carvalhido corresponde a uma área no interior da cidade do Porto. Para os objetivos do estudo em questão foi necessário ter em consideração duas intersecções principais que contemplam os seguintes arruamentos: Rua da Natária, Avenida de França, Rua da Prelada, Rua Pedro Hispano, Avenida Conselho da Europa, Rua do Carvalhido.

Contudo, tal como já referido, é necessário estender o estudo a outros arruamentos ligados aos acima referidos.

A zona do Carvalhido tem vindo, ao longo dos anos, a sofrer diversas alterações na rede que tiveram como objetivo melhorar a circulação do tráfego.

No entanto, há certos problemas que serão mais à frente mencionados resultantes eventualmente da situação atual da cidade do Porto e da rede em geral, que originaram a necessidade de se analisar a implementação de alterações do local.

### 3.2. SINISTRALIDADE NA ZONA DE ESTUDO

Para dar início ao estudo da zona, numa primeira instância, e após já terem sido identificadas as ruas que têm importância significativa para área em estudo, através de dados disponibilizados pela Divisão Municipal de Gestão da Mobilidade e Tráfego, foi possível efetuar a caracterização da sinistralidade dos arruamentos seguintes: Rua da Natária, Avenida de França, Rua da Prelada, Rua Pedro Hispano, Avenida Conselho da Europa, Rua do Carvalhido. Esta análise de sinistralidade permite caracterizar de forma geral a zona em estudo.

Os dados fornecidos pela CMP compreendem a informação de todos os sinistros registados pela polícia de segurança pública, e que ocorreram de 2011 até ao final de 2017 na cidade do Porto. Assim, numa primeira fase foi necessário tratar os dados de forma a identificar os sinistros que ocorreram nas ruas já referidas.

Após a sua identificação e uma vez que os sinistros apresentam a identificação da natureza do de acidente obteve-se a seguinte figura:

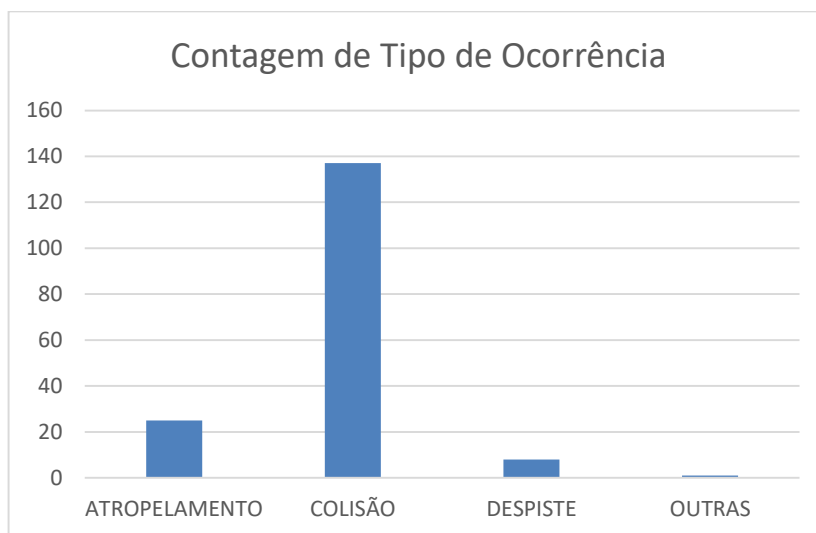


Figura 2: Tipo de Ocorrência Carvalhido

No gráfico é possível observar que os acidentes que ocorrem com maior frequência na zona em análise são as colisões. O elevado número de colisões para a zona em análise pode ser justificado pela grande quantidade de movimentos permitidos e indefinição do traçado viário nos dois cruzamentos principais da zona, como visível na figura 1, bem como pelo estacionamento abusivo. A figura 1 mostra os acidentes localizados com base nas coordenadas GPS. Como se pode constatar, os sinistros encontram-se sensivelmente em locais próximos aos cruzamentos, como tal indiciando que algo não está a funcionar devidamente já que os cruzamentos em questão são regulados por sinalização luminosa.



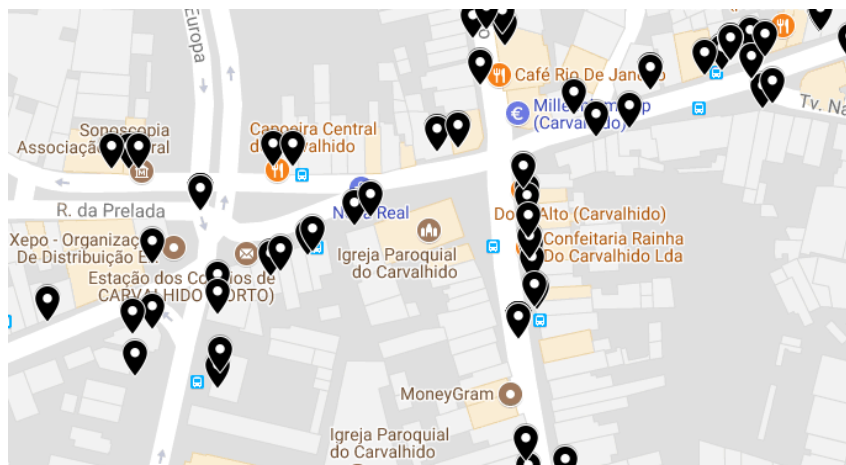


Figura 3: Localização de sinistros na zona de estudo

É importante também apresentar (figura 3) resultados do tipo de ocorrências, que tiveram lugar no período já referido, para a cidade do Porto.

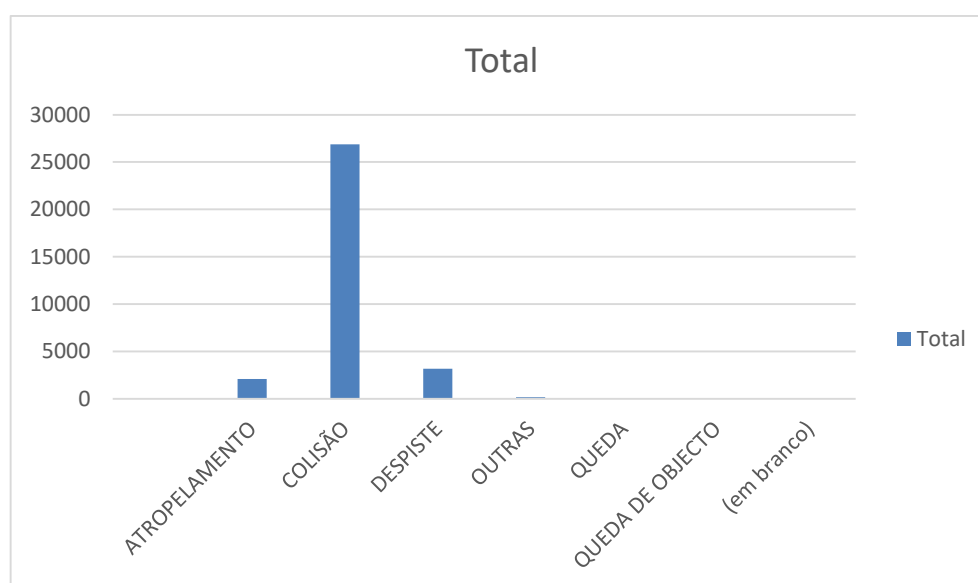


Figura 4: Tipo de Ocorrência Porto

No caso do tipo de sinistros registados na cidade do Porto, o tipo de ocorrência com volumes mais significativos, também foram as colisões. Este facto, deve-se ao facto de o que acontece na zona do Carvalhido também se verificar em várias zonas da cidade. No entanto também é importante referir que a o tipo de sinistros mais registado em meio urbano é a colisão, já que o despiste, encontra-se bastante associado a elevadas velocidades de circulação e o atropelamento, está sempre associado a negligência, ou da parte do condutor ou da parte do peão.

### 3.3. DEFINIÇÃO DA ZONA DE ESTUDO

O primeiro passo para se atingir o objetivo da presente dissertação passa por definir os limites da zona de estudo. Só com este primeiro passo será possível efetuar a devida modelação e posterior análise.

A zona foi definida de acordo com a área apresentada na Figura 4.

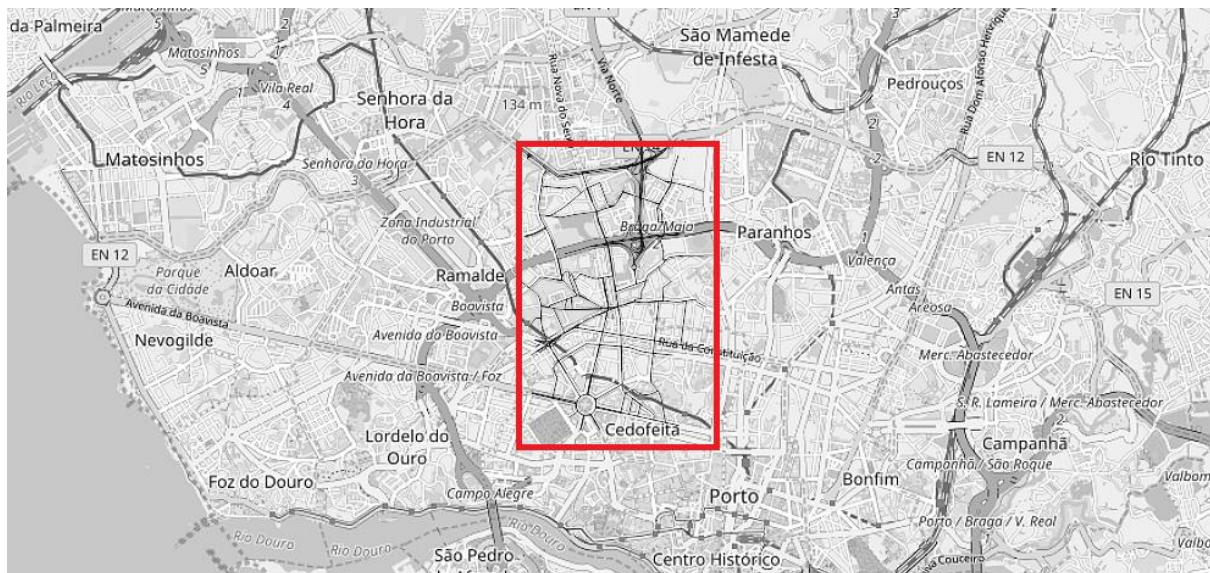


Figura 5: Zona de estudo

A escolha desta área teve em conta vários fatores, nomeadamente, o impacto que a zona tem na cidade do Porto como um todo, mas também o facto de esta zona representar uma “micro-zona” que possui vários pólos atractores e geradores de viagens. No entanto, para a modelação ser robusta, apenas os arruamentos que têm volumes de veículos significativos devem ser considerados como arcos. Ou seja, não faz sentido considerar arruamentos ou troços de estrada de acesso privados ou até de difícil acesso. Desta feita para a dissertação que aqui se apresenta, a opção assumida foi considerar troços com importância significativa no que toca a movimentos entre as várias zonas da cidade do Porto, tanto como movimentos de saída e entrada na cidade

Para além de tudo isto, e face à existência na Câmara Municipal do Porto da rede já modelada para a toda a cidade com todos os arcos e nós, incluindo arruamentos locais, foi necessário realizar algumas tarefas de análise, correção e/ou ajuste da rede existente para caracterizar a zona a estudar da melhor forma possível.

### 3.4. OBTENÇÃO DA REDE E RESPECTIVO CORTE

Numa primeira fase e após a rede da cidade do Porto ter sido modelada em VISUM, trabalho prévio já realizado tendo em vista os objetivos da Divisão da Gestão e Mobilidade de Tráfego, foi necessário acrescentar a essa mesma rede a informação que se encontra disponibilizada pela empresa pública “Sociedade de transportes coletivos do Porto” (STCP), relativamente ao horário e rotas dos autocarros.

Essa informação encontra-se disponível no sítio da internet “<http://github.com/>”. Após o download de uma pasta o formato “GTFS” foi necessária a importação dessa mesma pasta para o VISUM. A

importação sobescrita cria um ficheiro do tipo “. ver”. O ficheiro referido remete para uma rede com a informação de rotas, paragens e horários de todos os autocarros que pertencem à empresa STCP. No entanto, as rotas disponibilizadas não se encontram associadas ao traçado viário da cidade da rede a modelar.



Figura 6: Rede que contempla as paragens, rotas e horários associados aos autocarros da STCP (Fonte: STCP)

Numa fase posterior foi necessário associar o ficheiro disponibilizado pela CMP com o ficheiro disponibilizado pela STCP, criando um só. A assemblagem das duas redes permitiu que as rotas dos autocarros se associassem ao traçado viário da rede a modelar. Desta feita, o resultado da assemblagem das duas redes conduziu a uma rede para a cidade do Porto, a qual caracteriza a oferta (rede viária da cidade do Porto) e também a oferta a nível de transporte público. Após realizado o ponto prévio, o passo seguinte foi a caracterização da procura do transporte privado. Neste caso, utilizou-se uma matriz de origem/destino (O/D) para a rede total da cidade do Porto e disponibilizada pela CMP. A criação da referida matriz teve por base o zonamento da cidade do Porto, e com recurso a inquéritos foi possível conhecer as viagens de cada um dos inquiridos e distribuí-las pelas várias zonas. De notar que os inquiridos apenas correspondem a uma amostra da população real, algo que através de tratamento de dados estatísticos e iterações realizadas já com o recurso à modelação de tráfego, permitiu obter uma matriz O/D muito próxima do real para a cidade do Porto.

Quanto à procura do transporte público, é importante mencionar que para ser possível realizar a afetação do transporte público, é necessário associar a cada zona uma matriz que representa a procura de cada passageiro e o percurso pedonal realizado até este entrar no autocarro. A matriz que corresponde à procura de cada passageiro até à paragem de autocarro mais próxima foi realizada de uma forma aleatória para obter os dados que são realmente necessários, e que neste caso são as viagens dos autocarros. Só desta forma foi possível o software determinar as viagens que estavam associadas a cada rota do autocarro. Também é importante referir que a matriz O/D dos passageiros não altera os resultados da afetação do transporte público, quer tendo valores elevados (200 passageiros por zona, por exemplo), quer tenha valores baixos (apenas um passageiro). De referir que o software possui uma ferramenta que permite analisar os eventuais percursos dos peões. No entanto, para o presente documento e tendo em conta o objetivo do estudo não se aplicou esta funcionalidade.

Depois dos passos prévios, o seguinte foi o corte da rede para a zona em análise limitando o estudo à zona de interesse para a presente dissertação.

Desta feita, a análise passou a ser mais pormenorizada e incisiva visando o objetivo final. O corte da rede foi realizado com o recurso a uma funcionalidade do “VISUM” que se intitula de “*subnetwork generator*” (ver figura 6). No final desta etapa obteve-se a rede viária tal como mostra a figura 5.

Parameters subnetwork generator

Version file

Treatment of line routes

- ☐ Entire line route from start stop point to end stop point
- ☐ Cut off the line route at the boundaries of the analysis polygon
- ☒ Cut line route, include subnetwork cordon stops
- ☐ Create stop point matrix (regarding path legs)
- ☐ Create stop point matrix (regarding paths)

Matrices for assigned demand segments

Number: 2	Select	Code	Name
1	<input type="checkbox"/>	BUS	Bus
2	<input type="checkbox"/>	C	Car

☐ Include the demand model in the subnetwork (with standard settings for newly created cordon zones)

Subnetwork cordon zones

☐ Use connector links  
(continuously ascending numbers of cordon links, cordon nodes and cordon zones PrT)

☒ Offset-based numbering of cordon zones

Offset added to number of connector node: 1000000

☐ Continuous numbering of cordon zones

Minimum number for cordon zones: 1000000

Zone type for cordon zones: 9

☒ Generate only required PrT cordon zones

☐ Generate all possible PrT cordon zones (for subsequent Vissim export)

Open parameters Save parameters OK Cancel

Figura 7:janela alusiva à funcionalidade subnetwork generator (Fonte: software Visum)

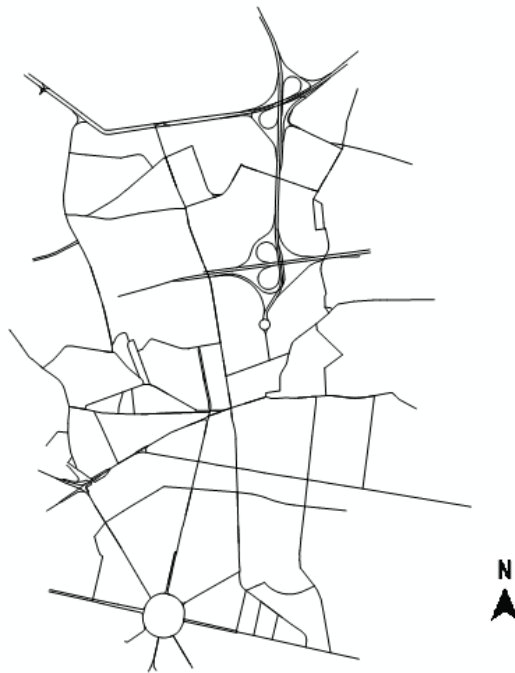


Figura 8: Rede da zona em estudo (Fonte: software VISUM)

De referir que imediatamente antes da fase apresentada na figura 7 foi necessário eliminar e/ou corrigir arruamentos que estavam associados à rede tal como disponibilizada pela Divisão da Gestão e Mobilidade de Tráfego. Na verdade, como a rede disponibilizada não foi alvo de qualquer estudo ou análise prévia ao presente trabalho, pode-se depreender que esta poderá conter um conjunto de erros que poderão afetar qualquer estudo de modelação de tráfego. Nesse sentido, a rede inicial tal como utilizada para este trabalho, continua a ser alvo de análise para deteção de erros e posterior correções. Para a zona em estudo, detetou-se a existência de arcos que correspondiam a arruamentos sem classificação viária relevante quer para afetar movimentos de entrada e saída na cidade do Porto quer para viagens interzonais da cidade. A existência deste tipo de arcos induz uma afetação de tráfego não representativa do fluxo real e como tal com impacto negativo para os resultados finais do estudo. Por outro lado, foi ainda necessário verificar se os movimentos permitidos na rede correspondiam aos movimentos reais.

#### 3.4.1. HOMOGENEIZAÇÃO DAS CORRENTES DE TRÁFEGO

As correntes de tráfego por norma assumem um caráter heterogéneo, uma vez que, são constituídas por veículos de diversas características. Este facto significa que para o mesmo valor de volume de tráfego podem existir correntes de tráfego com comportamentos distintos. Desta feita é necessário tratar o volume de tráfego ou débito com uma unidade singular, que será obtida a partir da noção de coeficiente de homogeneização. O referido coeficiente permite transformar o volume real num equivalente apenas constituído por veículos ligeiros. Como tal, este coeficiente representa o número de veículos ligeiros que, nas mesmas condições, gera o mesmo efeito que um veículo duma dada classe. A equação 3.1 descreve a formulação a aplicar para se obter o coeficiente de homogeneização:

$$q_h = q_r(1 - \Sigma p + \Sigma p * E) \quad (3.1)$$



Com:

qh – Débito homogeneizado;

qr – Débito real;

p – Percentagem de pesados

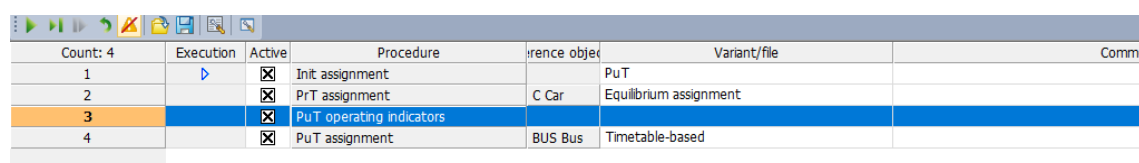
E – Fator de equivalência.

### 3.5. AFETAÇÃO DA ZONA DO CARVALHIDO

A afetação da zona em questão passou por um processo ao qual foi necessário ter em consideração o tráfego do transporte publico e o tráfego do transporte privado em fases distintas.

Esta decisão prendeu-se com a funcionalidade que é permitida pelo VISUM que admite utilizar os horários do transporte público e gerar assim as viagens conforme as rotas reais definidas para cada autocarro.

Para dar início à afetação propriamente dita, foi necessário utilizar na funcionalidade do software designada por “*procedure sequence*” os seguintes elementos: “*init assignment*”, “*Put assignment*”, “*Prt assignment*” e “*Put operating indicators*” tal como representado na figura seguinte:



Count	Execution	Active	Procedure	Reference object	Variant/file	Comments
1		<input checked="" type="checkbox"/>	Init assignment		PuT	
2		<input checked="" type="checkbox"/>	PrT assignment	C Car	Equilibrium assignment	
3		<input checked="" type="checkbox"/>	PuT operating indicators			
4		<input checked="" type="checkbox"/>	PuT assignment	BUS Bus	Timetable-based	

Figura 9: *Procedure sequence* Fase 1(Fonte: software VISUM)

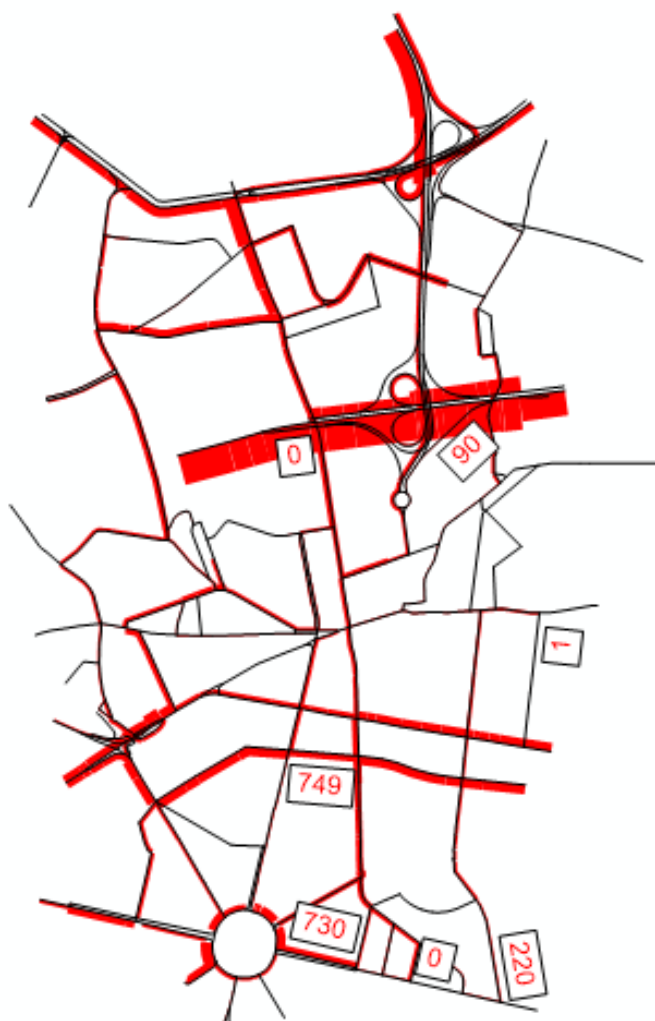


Figura 10: Afetação na 1ª fase (Fonte: software VISUM)

De referir que as siglas Put refere-se ao transporte público e Prt ao transporte privado.

Numa primeira instância ocorre uma afetação da rede como é possível visualizar na imagem apresentada na figura 9. No entanto, nesta fase, a afetação do volume e da escolha das trajetórias realizada pelo programa para o transporte privado, não tem em consideração a influência do transporte público e congestionamento que as suas rotas e sucessivas paragens provocam.

De seguida, para se caracterizar a procura do transporte privado tendo em conta as alterações que as rotas do transporte público implicam na rede, é necessário alterar os “*Prt settings*”, ou seja, as definições que o software utiliza para executar a afetação, tal como mostra a imagem seguinte:

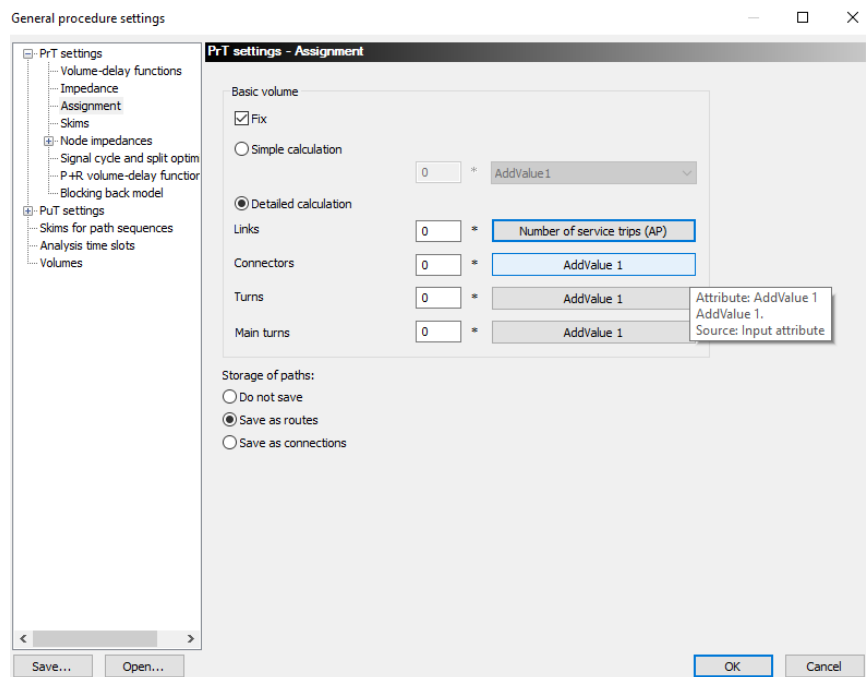


Figura 11: PrT Settings

Para uma correta afetação, e já que a procura associada ao transporte privado foi realizada tendo em conta os volumes de tráfego associados à hora de ponta da manhã (das 8h 00m até as 9h 00m) e à hora de ponta da tarde (das 18h 00m até as 19h 00m), foi necessário alterar certos pressupostos que o software assume por defeito. Da mesma forma, a alteração do período de análise do transporte público foi realizada em concordância com as já referidas horas de ponta consideradas para o transporte privado.

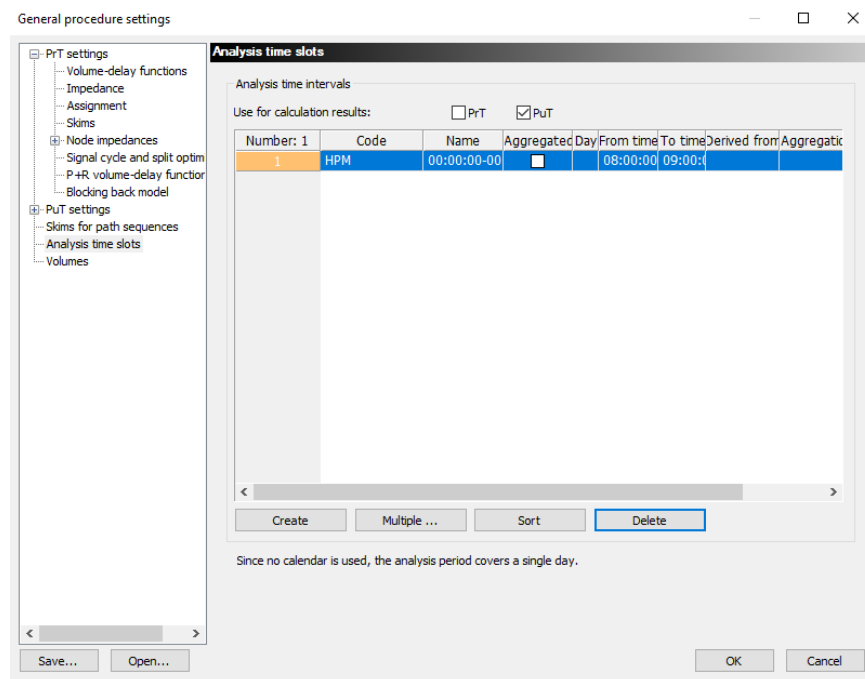


Figura 12: Período de análise de tempo afeto ao Transporte publico ponta da manhã (Fonte: software VISUM)



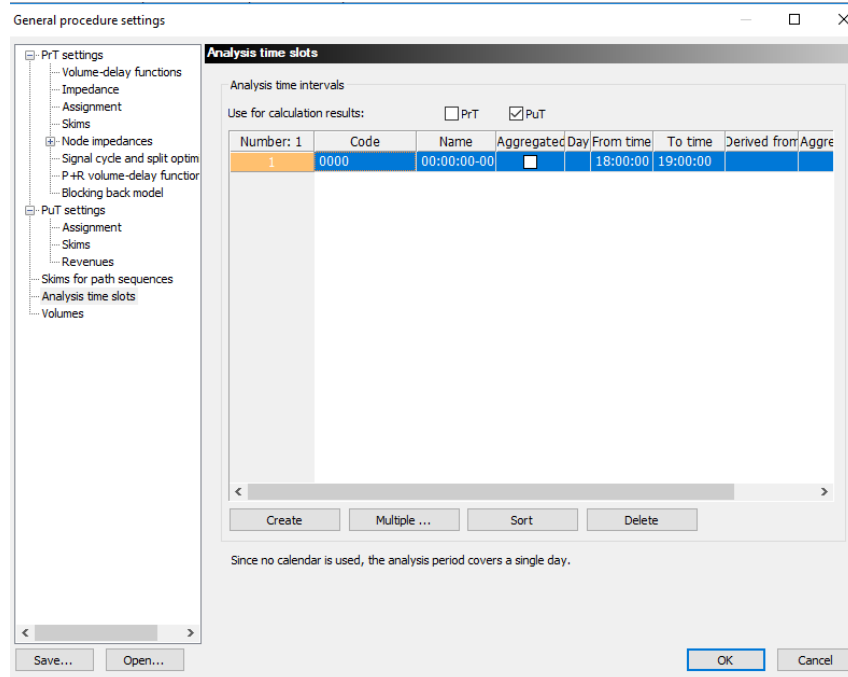


Figura 13: Período de análise de tempo afeto ao transporte publico ponta da tarde (Fonte: software VISUM)

A análise da situação atual (cenário base) da zona do carvalhido foi realizada para dois períodos temporais (tarde e manhã) uma vez que, em certos arruamentos, o volume de tráfego durante os dois períodos em questão é diferente. Estas diferenças estão geralmente associadas aos movimentos de entrada e saída no grande Porto. Assim, e como o presente documento visa caracterizar a situação existente e estudar cenários futuros, foram considerados os dois horários distintos.

Depois de definidos os períodos de análise, criou-se um atributo de forma a que a afetação seja realizada separadamente para os dois períodos de tempo, obtendo-se resultados quer para o volume de tráfego do transporte privado quer para o transporte privado em conjunto com o transporte público.

Create user-defined attribute (Links)

Attribute ID: Put\_Prt

Code: Put\_Prt

Name: Put\_Prt

Comment:

Data type: Integer ☐ Use subattributes for analysis time slots

Attribute type:  
☐ Data attribute  
☒ Formula attribute

The output attribute is defined by the following term.

[VOLVEHPRT(AP)]+2\*[NUMSERVICETRIPS\_TSYS(BUS,AP)]

Cross-section logic:  
Sum ☐ Ignore blocked directions

OK Cancel

Figura 14: Homogeneização do tráfego (Fonte: software VISUM)

Posteriormente foi necessário utilizar mais uma vez a ferramenta “*procedure sequence*” para nova afetação. Quando realizada esta fase, a afetação do transporte privado e respetiva escolha de caminho é gerada de acordo com as rotas do transporte público. Ou seja, para a afetação de uma dada corrente de tráfego a um determinado movimento, é avaliada a existência ou não das rotas de autocarros, sendo a decisão ponderada face ao congestionamento produzido pelo transporte público.

Nesta fase já é possível realizar a afetação final para o cenário base, sendo que ocorrerá a implicação do transporte público na escolha do caminho das correntes de tráfego pertencentes à classe modal transporte privado.



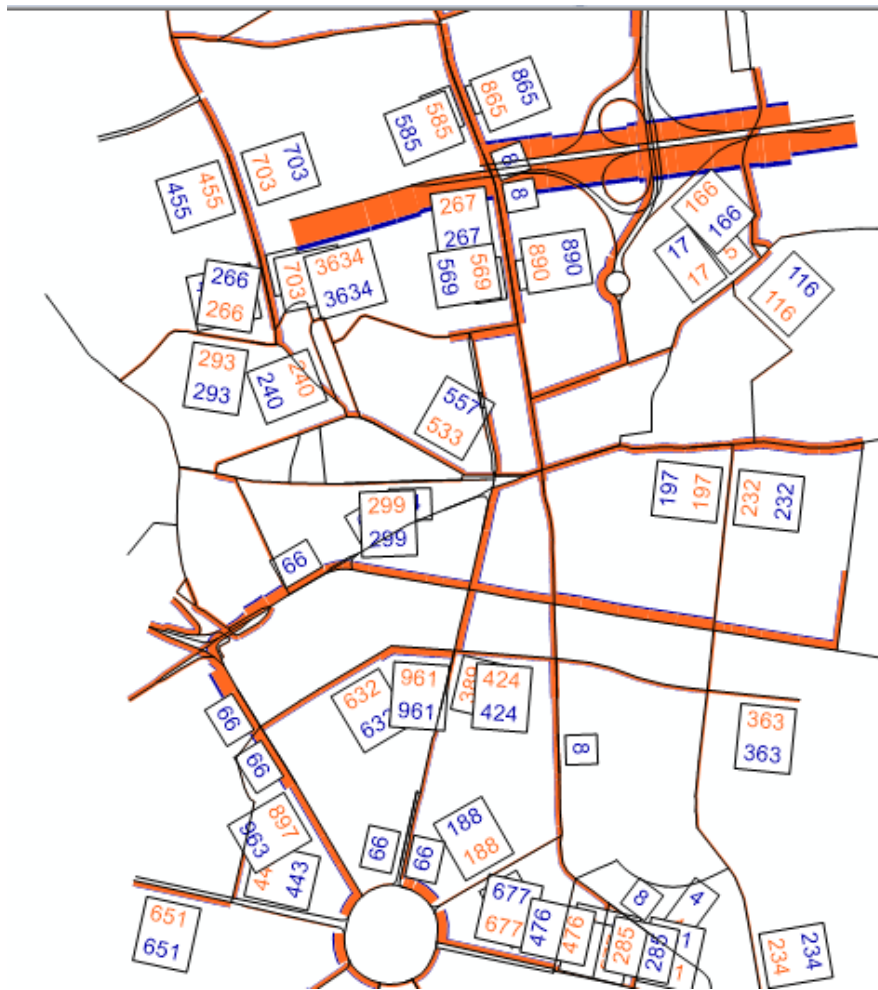


Figura 16: Afetação da rede em estudo HPT

Na figura 13 é possível constatar a afetação para a ponta horária da tarde (HPT) sendo de referir que, tal como na afetação realizada para a hora de ponta da manhã, a afetação a cor de laranja representa o volume de veículos de transporte privado por hora, e a cor azul remete para volume de tráfego homogeneizado.

### 3.6. ANÁLISE DOS RESULTADOS MODELADOS

Para se proceder à análise de resultados e respetiva discussão, optou-se numa primeira instância por comparar os volumes de veículos por hora obtidos através da afetação realizada no software Visum com os dados disponibilizados pela Divisão Municipal da Gestão e Mobilidade de Tráfego relativos às contagens, tanto para a hora de ponta da manhã como para a hora de ponta da tarde. O objetivo é analisar o ajuste do modelo às observações consideradas (calibração).

A opção escolhida para fazer a devida comparação foi o uso do índice GEH, as contagens tiveram local por toda a cidade, mas para a presente dissertação apenas 7 postos de contagens se associam à zona em estudo.

Para os valores observados considerou-se 7 postos de contagens que estão associados à zona em estudo.

Os 7 postos de contagens situam-se nos locais seguintes:

- Intersecção da Rua Serpa Pinto com a Rua do Carvalhido;
- Cruzamento que é constituído por Rua do Carvalhido,
- Rua da Natária e Praça do Exército Libertador;
- Cruzamento que alberga a Rua Serpa Pinto e a Rua da Constituição;
- Intersecção da Travessa de São Dinis com Rua de São Dinis;
- Intersecção da Rua da Natária com a Rua São Dinis; Cruzamento que alberga a Rua Acácio Lino e a Rua Sousa Pinto
- Cruzamento da Avenida de França com a Rua da Constituição;

As já referidas contagens foram realizadas nas Horas de Ponta da Manhã e nas Horas de ponta da tarde, que são no fundo contagens feitas das 8 horas até às 9 horas e das 18 horas até às 19 respetivamente.

Tabela 2: GEH- hora de ponta da manhã

Posto de Contagem Manhã	Modelado	Contado	GEH
VOLVHPRT(AP)			
1	291	378	4,8
	218	368	8,8
	86	547	25,9
2	52	33	2,9
	84	183	8,6
3	146	504	19,9
	1901	1109	20,4
	209	284	4,8
4	131	266	9,6
	127	364	15,1
5	53	89	4,3
	111	54	6,3
6	348	1029	26,0
	0	462	30,4
	0	393	28,0
7	582	933	12,8
	482	1010	19,3

Tabela 3: GEH – hora de ponta da tarde

Posto de contagem Tarde	Modelado	Contado	GEH
VOLVEHPRT(AP)			
1	295	311	0,9
	350	286	3,6
	365	475	5,4
2	390	235	8,8
	409	178	13,5
3	197	345	9,0
	1109	854	8,1
	213	408	11,1
4	435	234	11,0
	568	400	7,6
5	0	40	8,9
	28	435	26,7
6	894	694	7,1
	0	514	32,1
	0	659	36,3
7	955	773	6,2
	926	1373	13,2

Dos valores apresentados nas tabelas 3 e 4, poder-se-á desde já referir que os resultados obtidos não são os desejáveis. Os valores para o índice GEH que não se apresentam como inferiores a 5, indicam que o modelo não está a ajustar da melhor forma à realidade. Estes resultados, por norma, estão associados a uma calibração com pouco nível de confiança. Com o objetivo de investigar a existência de eventuais erros que influenciem os resultados obtidos, foi realizada uma análise detalhada da rede tendo-se verificado que esta está devidamente representada e caracterizada. Por outro lado, os locais onde existe sinalização luminosa foram alvo de estudo, de forma a garantir que os tempos associados ao ciclo, nomeadamente de sinal verde, bem como os movimentos permitidos em cada fase estejam de acordo com o real. As ruas e interseções também foram objeto de estudo de forma a garantir que os ramos dos nós e os arcos estejam representados com o número de vias adequado bem como o sentido de circulação e os movimentos permitidos. Desta feita, poder-se-á concluir que os resultados obtidos terão relação direta com a matriz O/D utilizada como geradora de viagens, ou seja, o problema não estará no lado da oferta, mas da caracterização da procura.

A matriz O/D utilizada nesta dissertação e disponibilizada pela CMP, quando à realização do modelo de simulação ainda não estava totalmente desenvolvida, uma vez que os procedimentos de otimização e

regularização da mesma decorreram num espaço de tempo paralelo à presente dissertação. Como tal, a explicação mais plausível dos resultados menos válidos prende-se com questões associadas à geração de viagens.

É importante também referir que, para além da matriz origem/destino não ser a mais completa e exata, os postos de contagens abrangem locais que se encontram em extremidades da zona de estudo. O facto de se localizarem em extremidades da área de estudo faz com que sejam menos relevantes e tenham uma menor importância face aos resultados que apresentam, mas também estejam mais suscetíveis a erros do programa, já que a rede da zona em estudo teve como ponto de partida uma outra rede de dimensão maior. Visto que a rede foi desenvolvida com recurso à já referida ferramenta do programa Visum “*subnetwork generator*”, esta poderá induzir a inconsistências relacionados com a definição de zonas origem ou destino e respetivas viagens.

Para ser possível melhorar os resultados obtidos para esta zona ou qualquer outra zona da rede do Porto, será necessário analisar toda a rede viária da cidade como um todo de forma a corrigir eventuais erros e otimizar a matriz O/D. Só depois desta tarefa será possível garantir que a matriz O/D a afetar a zona em estudo seja fiável.

Assim, é de notar que os valores obtidos não podem ser assumidos como uma “verdade absoluta”.

### **3.7. CARACTERIZAÇÃO DOS INDICADORES DE DESEMPENHO**

Os já referidos indicadores de desempenho permitem avaliar os resultados associados à afetação realizada com recurso ao software Visum.

Os indicadores são obtidos de forma automática pelo software, sendo que são apresentados no formato de uma folha de cálculo os níveis de serviço e o atraso médio para cada intersecção, resultante do processo de afetação.

Foi ainda necessário calcular o atraso total para todas as intersecções de maior importância da zona do Carvalhido. Depois de seleccionadas as intersecções, e após a multiplicação do tempo de atraso pelo volume de veículos afetado a cada uma destas, realizou-se a soma de todos esses valores de forma a obter o atraso total nas intersecções-chave da rede.

As referidas intersecções encontram-se assinaladas a vermelho na figura seguinte:

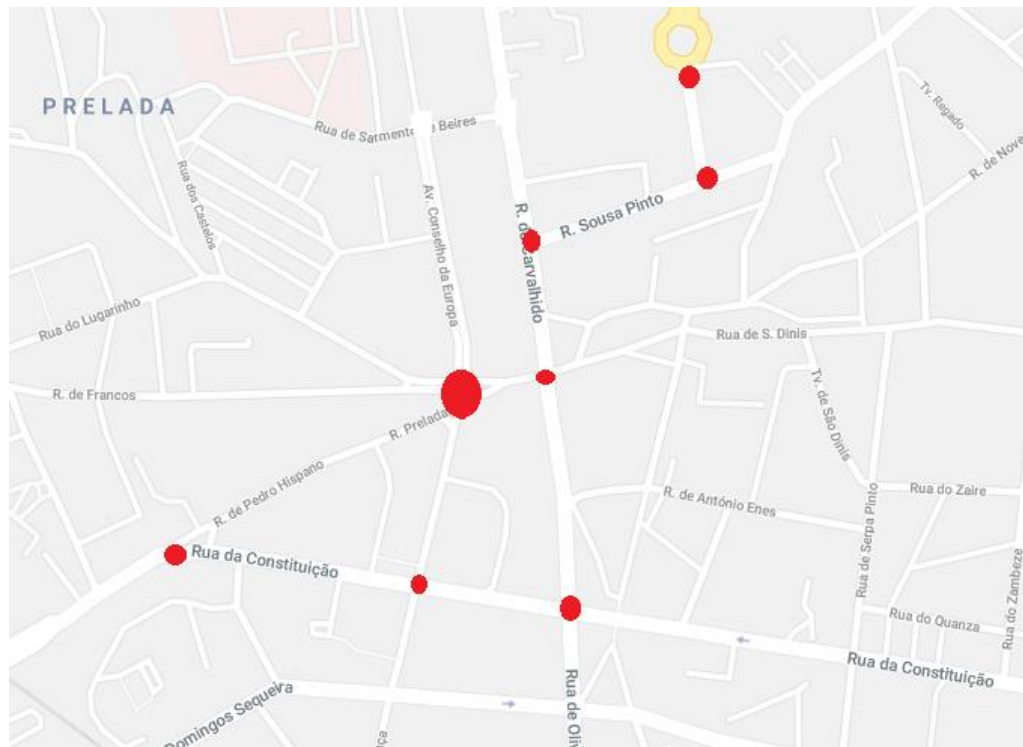


Figura 17: Intersecções analisadas (Fonte: software Visum)

Na figura 15 as intersecções encontram-se identificadas por o seu respetivo número de acordo com a codificação do software.



Figura 18: Número de codificação das intersecções analisadas



A análise foi realizada para a hora de ponta da manhã e hora de ponta da tarde, sendo que desta feita, cada intersecção tem dois resultados avaliados, tal como mostra as tabelas 5 e 6:

Análise hora de ponta da manhã:

Tabela 4: Indicadores de desempenho para a hora de ponta da manhã

Intersecção	Atraso Médio	Nível de Serviço	Volume de Tráfego
<b>405</b>	0,00	A	562
<b>2225</b>	158,42	F	925
<b>2226</b>	9,68	A	379
<b>2625</b>	3,62	A	90
<b>2627</b>	45,46	D	749
<b>4154</b>	93,39	F	467
<b>12027</b>	101,12	F	936
<b>72451</b>	23,76	C	1064

Atraso Total HPM: 96,71 veic.seg

Análise hora de ponta da tarde:

Tabela 5: Indicadores de desempenho para a hora de ponta da tarde

Intersecção	Atraso Médio	Nível de Serviço	Volume de Tráfego
<b>405</b>	0,00	A	1023
<b>2225</b>	361,40	F	1671
<b>2226</b>	13,83	B	1182
<b>2625</b>	3,76	A	166
<b>2627</b>	253,63	F	2031
<b>4154</b>	118,30	F	2001
<b>12027</b>	229,43	F	1565
<b>72451</b>	45,47	D	1981

Atraso Total HPT: 506,07 veic.seg

Como é possível verificar nas tabelas e resultados apresentados, a zona em estudo caracteriza-se por ter muito congestionamento, atrasos elevados nas intersecções em análise e também níveis de serviço bastante elevados. Uma nota para as intersecções identificadas pelos números 2226 e 2625 que representam uma zona que no cálculo do índice GEH apresentou uma diferença significativa entre valores obtidos nas contagens e valores obtidos através da simulação. Este problema, como já referido, prende-se com questões associadas à matriz origem/destino, pois naquela zona a geração de viagens numa situação real teria de apresentar valores bastante superiores.

É importante referir que o cálculo do atraso total apenas considera 8 intersecções, algo que em certos casos, pode não conduzir a resultados totalmente fidedignos. No entanto torna-se interessante para o estudo em questão atribuir algum peso a este indicador

Com a utilização dos cenários que serão testados no próximo capítulo, pretende-se que os resultados obtidos nas intersecções analisadas no presente capítulo melhorem e o congestionamento diminua.

# 4

## CENÁRIOS

### 4.1. INTRODUÇÃO

No presente capítulo o objetivo é definir e implementar novos cenários para a zona em estudo utilizando a simulação para assim comparar com o cenário base. Para tal, será utilizada a funcionalidade do software Visum “*scenario management*” que permite criar diversos cenários e também analisar os resultados face à situação base.

Os cenários escolhidos e, que serão apresentados nos pontos seguintes, tiveram como origem propostas que se encontram em fase de estudo na Divisão Municipal de Gestão da Mobilidade e Tráfego. Estas propostas têm como objetivo a melhoria da circulação tanto da zona do Carvalhido, mas também melhorias no tráfego da cidade do Porto. Acresce ainda que as referidas propostas têm por base a utilização dos recursos existentes (por exemplo, sinalização luminosa) e/ou o previsto no Plano Diretor Municipal. Como tal, a presente dissertação terá como objetivo avaliar a viabilidade de cada uma das propostas da Divisão Municipal de Gestão da Mobilidade e Tráfego.

A avaliação dos resultados, numa primeira instância, será realizada de uma forma direta, através da funcionalidade “*scenario management*” que apresenta a vermelho ou a verde os troços para os quais os valores de volumes de veículos melhoram ou pioram, respetivamente). Numa fase seguinte serão comparados e analisados os indicadores de desempenho de cada cenário em relação à situação atual.

### 4.2. CENÁRIO 1

O cenário 1 foi desenvolvido em concordância com os arruamentos que estão previstos para a Zona do Carvalhido segundo o Plano Diretor Municipal,

As futuras modificações à rede viária em estudo consideram três arruamentos. Contudo, como estes se apresentam em zonas relativamente próximas estando planeado a abertura ao tráfego de forma conjunta, estes novos arruamentos serão analisados num único cenário.

O primeiro arruamento consiste na ligação do ramo da rotunda Orlado Ribeiro à Rua de Silva Porto tal como representado a verde a figura 18. O ramo de ligação terá 4 vias, 2 por cada sentido.

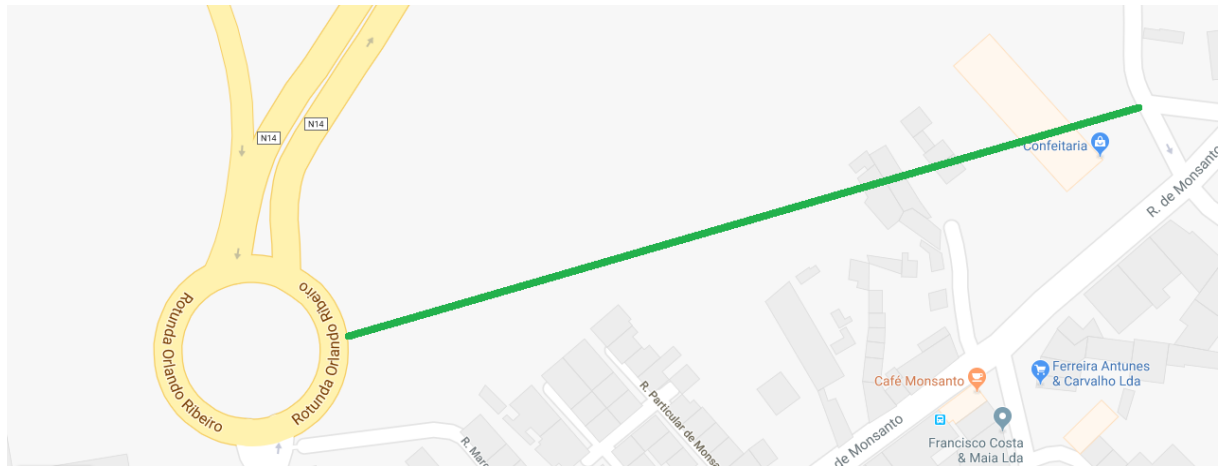


Figura 19: Representação do ramo de ligação a acrescentar (Fonte: Software Visum)

O segundo arruamento consiste na requalificação de ruas que têm como função viária o acesso local, bem como novos troços que darão continuidade aos existentes. As vias requalificadas são a Rua Mestre Albino Moreira, Rua Artur Oliveira Valença e Rua Fernando Cabral que se classificam atualmente como arruamentos de acesso local, mas que com as alterações previstas passarão a ser classificadas como distribuidoras locais. Os troços d que serão construídos visam unir a Rua Fernando Cabral à Rua Pedro Hispano e a Rua Mestre Albino Moreira à Rua Teodoro e à Rua Cidade de Xangai. Com a viabilização desta medida, cria-se assim na Zona do Carvalhido um percurso alternativo de entradas e saídas à Avenida Conselho da Europa e a Rua do Carvalhido. A figura 15 representa a verde o troço que será alvo das medidas de requalificação supracitadas.

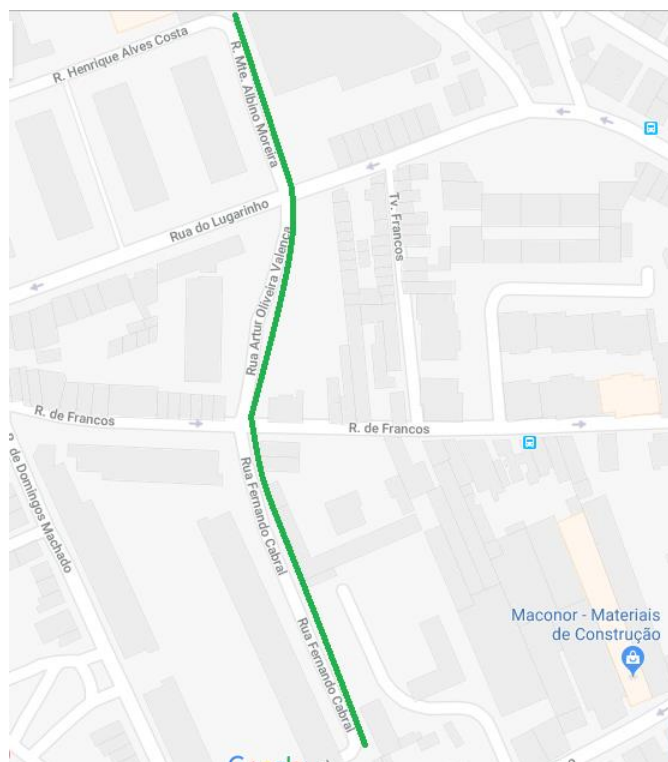


Figura 20: Troço alvo de requalificação (Fonte: software Visum)

Na figura 16, a cor de laranja, encontram se representados os novos arruamentos.



Figura 21: Novos arruamentos (Fonte: software Visum).

A terceira e última alteração que no conjunto com as anteriores constituem o Cenário 1, caracteriza-se pela continuidade da Rua Arquiteto João Andresen e a requalificação desta. A requalificação da rua em questão passa por, à semelhança do caso anterior, transformar arruamentos de acesso local em ruas distribuidoras locais, o que aumentará a capacidade da estrada. Por outro lado, a futura continuidade da rua implica a construção de um arruamento que permite efetuar a ligação entre rua já referida e a Rua do Monte dos Burgos.

A aplicação desta medida permite redefinir uma zona que se encontra atualmente bastante indefinida pois compreende duas ruas sem saída, como visível na figura 21.



Figura 22: Ruas sem saída, após Rua Arquiteto Joaquim Andresen (Fonte: Google Maps)

As linhas a verde e laranja visíveis na imagem da figura 22 representam as alterações referidas, sendo que a verde correspondem o arruamento a construir e a laranja a rua a requalificar.

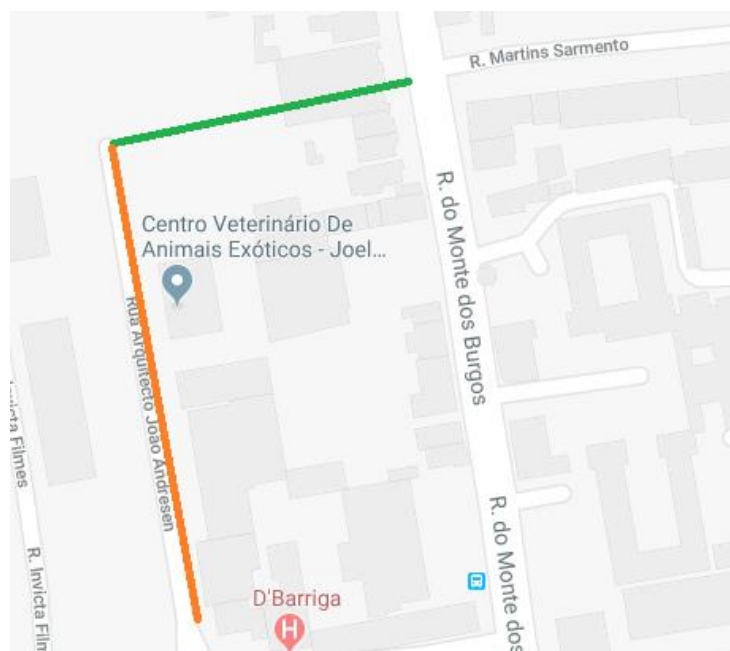


Figura 23: Alterações Rua Arquiteto João Andresen (Fonte: software Visum)

Após combinar as três alterações previamente propostas, é possível definir o cenário 1. Como tal, este cenário consiste no aumento da capacidade da malha viária da zona do Carvalhido, algo que a priori representará uma mudança significativa na circulação viária da zona em questão

A representação final do cenário 1 é visível na figura 19 sendo que a verde estão representados os novos troços.



Figura 24: Cenário 1 (Fonte: software Visum)

## 4.2.1. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

No presente subcapítulo serão apresentados os resultados sob a forma de tabelas, algo que permite realizar a avaliação de resultados de uma forma mais prática.

Tabela 6: Indicadores de desempenho para o cenário 1 – HPManhã

<b>Intersecção</b>	<b>Atraso Médio</b>	<b>Nível de Serviço</b>	<b>Volume de Tráfego</b>
<b>405</b>	71,87	F	1206
<b>2225</b>	194,12	F	1033
<b>2226</b>	10,21	B	490
<b>2625</b>	3,30	A	38
<b>2627</b>	50,25	D	778
<b>4154</b>	110,41	F	1976
<b>12027</b>	85,17	F	804
<b>72451</b>	28,03	C	1426

Atraso Total HPM: 182,79 veic.seg

Tabela 7: Indicadores de desempenho para o cenário 1 – HPTarde

<b>Intersecção</b>	<b>Atraso Médio</b>	<b>Nível de Serviço</b>	<b>Volume de Tráfego</b>
<b>405</b>	18,27	C	874
<b>2225</b>	193,39	F	1485
<b>2226</b>	15,06	C	733
<b>2625</b>	15,38	C	1030
<b>2627</b>	75,26	E	1479
<b>4154</b>	339,61	F	1557
<b>12027</b>	167,81	F	1048
<b>72451</b>	27,70	C	1510

Atraso Total HPT: 329,95 veic.seg



Os resultados apresentados para o Cenário que se apresenta neste subcapítulo, assumem-se inconclusivos para a os cruzamentos em questão e para a zona do Carvalhido em geral.

Os níveis de serviço, atrasos médios, volume de veículos e atraso total apresentam melhorias significativas para a hora de ponta da tarde.

É possível visualizar tanto na imagem que se segue como nas tabelas apresentadas que há bastante procura nos arruamentos que foram introduzidos, algo que motiva a execução destes.

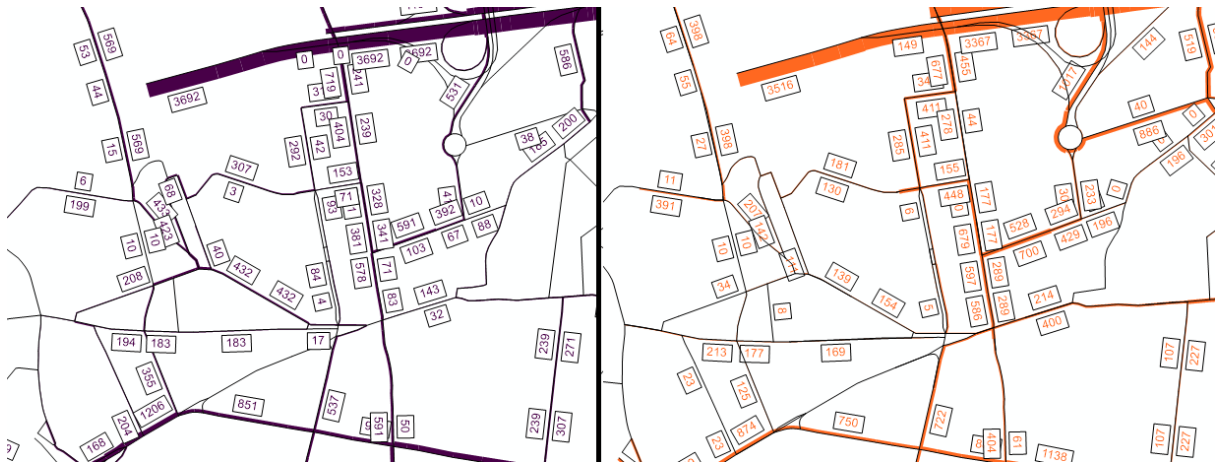


Figura 25: Afetação Cenário 1, período tarde e manhã.

Face aos resultados apresentados e atendendo aos recursos utilizados, o cenário proposto terá de ser alvo de futuras avaliações, visto que a discrepância de resultados para os dois horários revela-se um ponto que levanta certas dúvidas sobre a viabilidade ou não do cenário em questão. É importante associar este cenário o facto de que a cidade do Porto tem muitos movimentos associados a entradas, no período da manhã, e saídas no período da tarde. Este facto provoca diferenças no que toca a utilizações de certas malhas viárias, face ao período do dia, sendo que as explicações para os resultados obtidos para este cenário se podem associar a ele.

#### 4.3. CENÁRIO 2

O cenário dois consiste na alteração de sentidos de um troço da Rua do Carvalhido. A alteração dos sentidos nesta rua resulta de uma proposta que havia sido desenvolvida pela Divisão Municipal de Gestão da Mobilidade e Tráfego com vista a melhoria de funcionamento de dois cruzamentos na zona do Carvalhido. As alterações visavam o cruzamento que compreende a Rua da Prelada, a Avenida de França e a Avenida Conselho da Europa e a intersecção constituída por Rua da Natária, Rua do Carvalhido e Praça do Exército Libertador. As alterações para o primeiro cruzamento já se encontram postas em prática sendo que pertencem ao cenário atual. No segundo cruzamento supracitado as alterações têm com principal fator desencadeador a alteração de sentidos na Rua do Carvalhido. Uma vez que a proposta já foi estudada, mas não foi colocada em prática, optou-se por utiliza-la como um cenário alternativo de estudo.

A proposta de alteração dos sentidos na Rua do Carvalhido visa abranger a intersecção desta rua com a Rua de Sousa Pinto até à intersecção com a Rua de Oliveira Monteiro. Esta ideia tem como ponto forte a opção de rentabilizar a capacidade oferecida pela Avenida de França, eliminando a sua redundância

em relação à Rua do Carvalho. A alteração proposta tem por consequência direta alterações no desenvolvimento do cruzamento, no que toca a regularização de sinalização luminosa, da Rua da Natária com a Rua do Carvalho que deixará de se desenrolar em três fases e passará a ser feito em apenas duas, sendo que desta feita o tempo de ciclo associado à sinalização luminosa diminuirá. Para além desta medida conduzir à redução significativa da duração do ciclo com a eliminação de uma fase pelo facto do troço em questão passar a contemplar um sentido de circulação em vez dos dois existentes, permitirá duplicar a capacidade de escoamento e armazenamento de veículos.

Para se implementar as referidas alterações no software utilizado foi necessário considerar três etapas distintas.

A primeira assume-se pela alteração dos sentidos ao troço em questão, sendo que também foi necessário ter em consideração a geometria associada aos cruzamentos, visto que sofrem influencia direta com esta medida. O troço em questão encontra-se representado na figura 25.

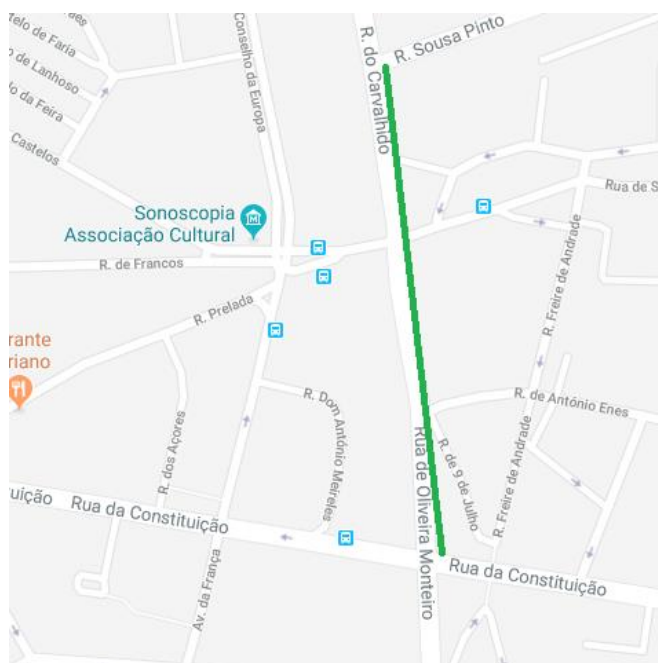


Figura 26: Troço alvo de alteração de sentidos

A segunda etapa compreende o desvio de rotas de autocarros, algo que é desencadeado pela inversão de sentidos no troço em questão. As rotas dos autocarros que pertencem à operadora STCP que foram alteradas devido à alteração do sentido de circulação correspondem às linhas 300, 301 e 602. Assim, o trajeto destas linhas foi desviado para fora da área de estudo.

A última etapa de modificações resultante da alteração de sentidos no troço da Rua do Carvalhido que contempla a intersecção com a Rua de Sousa Pinto até à intersecção com a Rua de Oliveira Monteiro, corresponde ao cálculo de novos tempos de verde associados à sinalização luminosa. Este cálculo foi realizado através da utilização do método de Webster (Costa, Seco e Vasconcelos, 2008) tendo conduzido ao seguinte diagrama de fases.

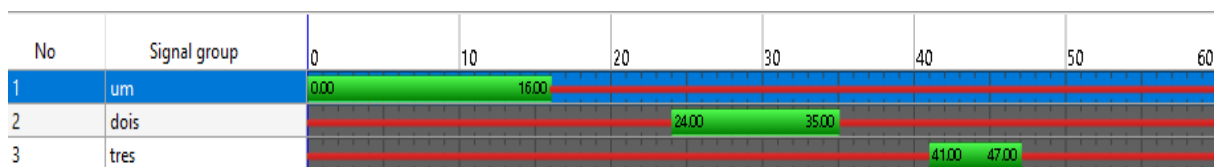


Figura 27: Diagrama de fases recalculado (Fonte: software Visum)

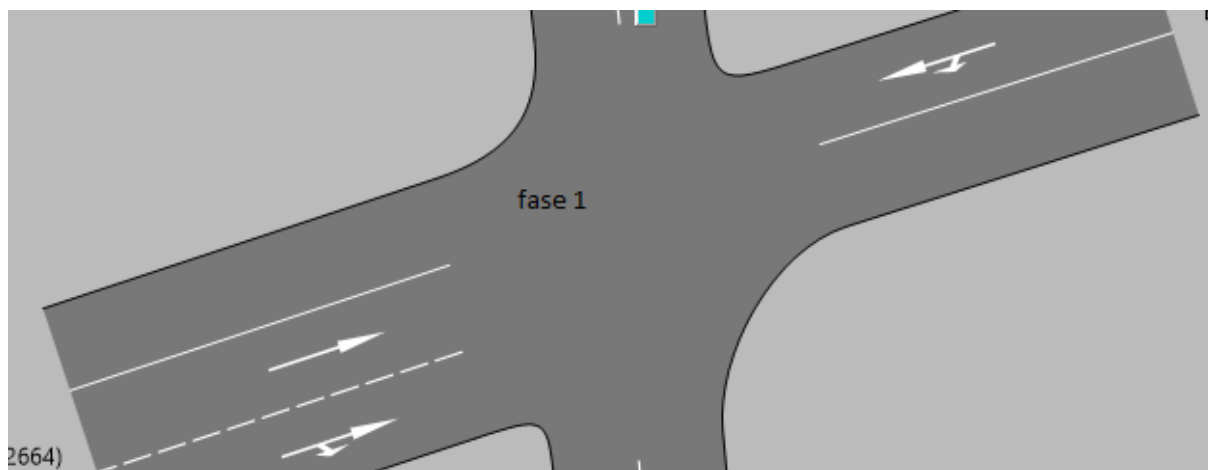


Figura 28: Movimentos permitidos na fase 1 (Fonte: software Visum)

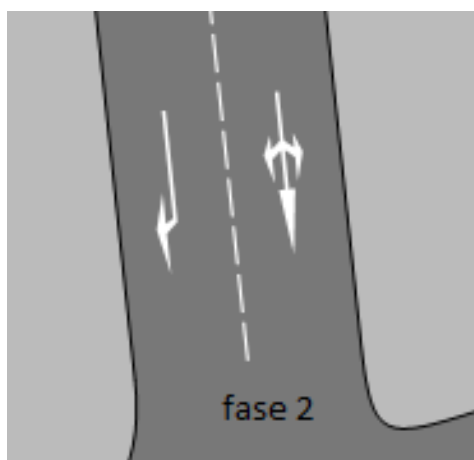


Figura 29: Movimentos permitidos na fase 2 (Fonte: software Visum)

#### 4.3.1. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Tal como no subcapítulo afeto ao cenário 1 os resultados serão apresentados da mesma forma. As tabelas 5 e 6 apresentam os resultados obtidos através da simulação para o cenário 2. Numa fase posterior os resultados serão avaliados também de uma forma gráfica.

Tabela 8: Indicadores de desempenho para o cenário 2 – HPManhã

Intersecção	Atraso Médio	Nível de Serviço	Volume de Tráfego
<b>405</b>	0	A	518
<b>2225</b>	151,26	F	1004
<b>2226</b>	9,82	A	405
<b>2625</b>	3,25	A	99
<b>2627</b>	87,66	F	913
<b>4154</b>	74,63	E	1314
<b>12027</b>	206,3	F	945
<b>72451</b>	24,05	C	1015

Atraso Total HPM: 153,78 veic.seg

Tabela 9: Indicadores de desempenho para o cenário 2 - HPTarde

Intersecção	Atraso Médio	Nível de Serviço	Volume de Tráfego
<b>405</b>	0	A	936
<b>2225</b>	651,41	F	1411
<b>2226</b>	14,83	B	1215
<b>2625</b>	3,89	B	201
<b>2627</b>	120,87	F	1331
<b>4154</b>	419,62	F	1884
<b>12027</b>	229,43	F	1849
<b>72451</b>	36,55	D	2276

Atraso Total HPT: 665,77 veic.seg

Tendo em consideração as tabelas apresentadas e o atraso total calculado para a hora de ponta da manhã e hora de ponta da tarde, os resultados indicam que a viabilização da proposta apresentada neste cenário, não é aconselhável.

Os níveis de serviço mantêm-se praticamente semelhantes em todas as intersecções analisadas, o volume de tráfego, o atraso médio e o atraso total obtidos para este cenário, levam a crer que as alterações á malha viária do carvalhido propostas não causaram impacto positivo face à situação atual da zona.

Na figura 29 é possível também notar que a afetação realizada com a aplicação do cenário 2 não apresenta melhorias à Zona.



Figura 30: Afetação Cenário 2 HPtarde e Hpmanhã (Fonte: software Visum)

Desta feita, tendo em consideração os resultados obtidos e apresentados previamente, o cenário 2 não se assume como uma solução aos problemas da zona do Carvalhido. Sendo que, em conjunto com outras medidas para a zona, poderá tornar-se uma solução, algo que por si só, não o é.

#### 4.4. CENÁRIO 3

O cenário 3 teve como origem a existência de sinais luminosos, mas que estão desativados, no cruzamento que é constituído pela Rua Sarmento Beires e Rua do Carvalhido. Desta feita este cenário tem como intuito estudar o impacto que terá a reativação da sinalização luminosa.

Este cenário, tal como anteriormente referido para o cenário 2, implicou a utilização do método de Webster (Costa, Seco e Vasconcelos, 2008) de forma a otimizar cada um dos tempos de verde associados a cada fase.

A aplicação do método Webster permitiu obter os seguintes resultados:

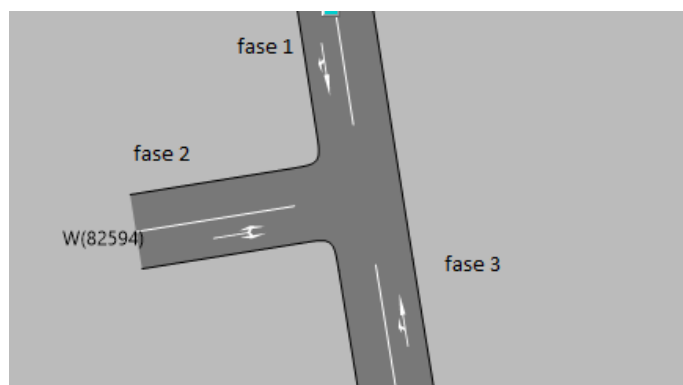


Figura 31: Identificação das fases (Fonte: software Visum)

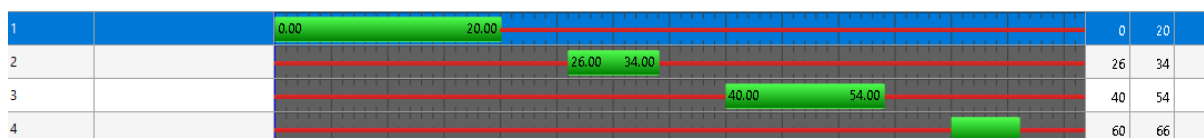


Figura 32: Diagrama de fases utilizado (Fonte: software Visum)

A fase número quatro está reservada para os peões, sendo apenas representativa, pois no presente estudo não foi considerada a análise dos peões, apesar do software de modelação permitir a simulação de peões, sendo necessário para tal obter dados relativos ao volume de peões.

#### 4.4.1. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Os resultados apresentados no presente capítulo, afeto ao cenário 3 têm a forma de uma tabela numa fase inicial e numa fase seguinte serão apresentados também com recurso a imagens obtidas através do software Visum.

Tabela 10: Indicadores de desempenho para o cenário 2 - HPManhã

Intersecção	Atraso Médio	Nível de Serviço	Volume de Tráfego
<b>405</b>	0,00	A	566
<b>2225</b>	146,73	F	919
<b>2226</b>	9,68	A	387
<b>2625</b>	3,62	A	86
<b>2627</b>	45,46	D	689
<b>4154</b>	93,39	F	1100
<b>12027</b>	101,12	F	931
<b>72451</b>	23,76	C	1120

Atraso Total HPM: 109,36 veic.seg

Indicadores de desempenho para o cenário 2 – HPTarde

Intersecção	Atraso Médio	Nível de Serviço	Volume de Tráfego
405	0,00	A	995
2225	351,40	F	1561
2226	14,03	B	1085
2625	3,65	A	159
2627	255,63	F	2007
4154	120,30	F	2016
12027	230,43	F	1577
72451	45,57	D	1986

Atraso Total HPT: 492,72 veic.sec



Figura 33: A Afetação Cenário 3 HPTarde e Hpmanhã (Fonte: software Visum)

Este cenário não apresentou melhorias à Rede viária em questão. Os níveis de serviço, mantiveram-se em todas as intersecções, a diferença entre volumes de tráfego face ao cenário base é insignificante, atraso médio por secção é semelhante ao inicial e o atraso total nas intersecções não teve mudanças. No entanto, esse facto pode ser explicado por se prender a uma modificação bastante pequena ao cenário real. Este cenário poderá ser testado com recurso a microssimulação, algo que poderá trazer resultados mais conclusivos, visto tratar-se de um modelo de simulação de tráfego com um nível de detalhe, bastante maior ao aplicado neste estudo.





# 5

## CONCLUSÃO

O presente estudo teve como principal foco simular e avaliar possíveis soluções rodoviárias e em comparação com a situação atual real da congestionada zona do Carvalhido localizada na cidade do Porto. Tendo este objetivo presente, foi utilizado o modelo de simulação de tráfego desenvolvido pelo PTV Group, Visum. Com recurso a este software, foi possível representar a rede viária afeta à Zona do Carvalhido e respetiva simulação do tráfego. Foram realizados e avaliados três diferentes cenários para a malha viária em questão de forma a estudar a viabilização das medidas impostas por cada cenário.

Para efetuar a avaliação de cada cenário foi utilizada a ferramenta específica - “*scenario management*”, que permite a representação de vários cenários diferentes e identifica os troços da rede onde há ou não melhorias. Para a avaliação da eficiência de cada cenário foram utilizados indicadores de desempenho que permitem efetuar a comparação do cenário base e os 3 cenários hipotéticos. Para tal, os indicadores de desempenho selecionados foram: atraso total, atraso médio e nível de serviço na intersecção. A seleção destes indicadores teve como critério o facto de estes serem os utilizados habitualmente em estudos deste âmbito.

Perante o trabalho realizado no presente estudo, é possível concluir que os modelos de modelação de tráfego têm um carácter prático e funcional bastante útil face à resolução de problemas associados aos transportes. Estes permitem uma diversidade de análises de distintas soluções, algo que se assume como eficiente e vantajoso para qualquer entidade que tem a responsabilidade de atuar na rede viária.

O software utilizado na presente dissertação, o Visum do PTV Group, é um exemplo destes modelos, e é uma ferramenta muito versátil e bastante intuitiva, algo que simplifica os processos associados à modelação.

Os resultados obtidos para os cenários testados não foram os esperados numa fase inicial, visto que apenas um cenário dos três considerados apresentou melhorias consideráveis à zona em estudo.

O cenário 1 foi o único que conduziu a melhorias na circulação, no entanto, esses resultados apenas se mostraram eficazes no período da ponta da tarde.

O cenário 2 assumiu-se como uma má solução já que, os resultados associados a este não conduziram a bom desempenho para os indicadores selecionados e como tal, os resultados obtidos não permitiram melhorias ao congestionamento da zona do Carvalhido.

O cenário 3 compreendia uma alteração bastante pequena à zona em estudo, algo que para um modelo macroscópico não se associou a diferenças face ao cenário original.

Após uma reflexão sobre os resultados associados a cada cenário testado pode concluir-se que: o cenário 1 terá de ser reavaliado, uma vez que, apresenta resultados positivos para o período da tarde, mas negativos para o período da manhã; o cenário 2 terá de ser associado a mais alterações à rede viária, uma vez que por si só degrada as condições de circulação; o cenário 3, para se poder concluir a sua utilidade, deverá ser alvo de uma modelação microscópica, já que os resultados apresentados foram semelhantes ao cenário atual, não apresentando melhorias ao congestionamento.

É importante referir que para uma eficiente modelação da rede viária é fundamental garantir por um lado, a correta criação da rede de forma a representar o mais fielmente a realidade e por outro lado, a existência de dados, nomeadamente uma matriz O/D, representativa dos movimentos existentes. Acresce ainda que, para assegurar resultados fiáveis, é necessário proceder à calibração e validação dos mesmos sendo que estes procedimentos só são possíveis com a existência de dados suficientes. Não tendo sido possível validar os resultados, os indicadores de desempenho foram analisados de forma relativa, comparando com o cenário base, e não de forma absoluta. Assim, o estudo aqui descrito deverá ser desenvolvido no futuro, e na perspetiva de melhorar a calibração e aplicar a etapa da validação, considerando, numa primeira fase, a rede da cidade do Porto como um todo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Costa, A., Seco, A., Vasconcelos, A. (2008) Manual do planeamento de Acessibilidade e Transportes. Sinais Luminosos. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte.
- Cunnard, R., Lieu, H., Mahmassani, H. Traffic flow theory. Transportation Research Board Special Report 165 de 1975
- Dowling, R., Holland, J., Huang, A. (2002). Guideline for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software. California Department of Transportation.
- Ferreira, J. (2008). Aplicação de Modelos de Tráfego(Dracula) na Avaliação dos Impactos em Redes Rodoviárias Urbanas Resultantes das Alterações nas Infraestruturas. Relatório de projeto submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil.
- Hoogendoorn, S. P., Bovy, P.H. (2001). State-of the art of vehicular traffic flow modelling. Delft University of Technology. Delft.
- Hourdakis, J., Michalopoulos, P.G., Kottommannil, J. (2003). A Practical Procedure for Calibrating Microscopic Traffic Simulation Models. Minneapolis.
- ITS, University of Leeds (2000). SMARTTEST – Simulated Modelling Applied to Road Transport European Scheme Tests. Leeds
- Liu, R., Clark, S., Montgomery, F., Watling, D. (1998). Microscopic Modelling of Traffic Management Measures for Guided-Bus Operation. ITS. Leeds.
- Oketch, T., Carrick, M. (2005). Calibration and Validation of a Micro-Simulation Model in Network Analysis. Washington
- Panis, L., Broekx, S., Liu, R. (2006). Modeling Instantaneous Traffic Emission and the Influence of Traffic Speed Limits. Bélgica/Leeds
- Principal, M. Y (2000). Macro versus Micro Simulation Modeling Tools. DKS Associates.
- Rakha, H., Hellinga, B., Van Aerde, M., Perez, W. (1996). Systematic Verification and Calibration of Traffic Simulation Models. Ontário/Virgínia.
- Rodrigues, B. (2011). Modelação e Validação de Processos de Car-Following em Netlogo para Simulação de Fluxo de Tráfego Rodoviário. Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de: Mestre em Engenharia Informática
- Rao, L., Owen, L., Goldsman, D. (1998). Development and Application of a Validation Framework for Traffic Simulation Models. Colorado/Atlanta.
- Saraf, S. Micro-Simulation of Traffic Using AIMSUN. Indian Institute of Technology Guwahati. 2006.
- Sítio da Internet [www.stcp.pt](http://www.stcp.pt). 21/02/2018
- Sítio da Internet <https://github.com/pt>. 11/03/2018
- Sítio da Internet <http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-us/products/ptv-visum/>
- Tavares, J.P. (2003). Aplicabilidade e Robustez de Modelos de Afetação de Tráfego em Redes Urbanas. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

- U.S. Department of Transportation (2007). Traffic AnalysisToolbox Volume IV: Guidelines for Applying CORSIM Microsimulation Modeling Software.Federal Highway Administration. Washington
- U.S. Department of Transportation (2004). Traffic AnalysisToolbox Volume III: Guidelines for Applying Microsimulation Modeling Software.Federal Highway Administration. Washington.
- Van Vliet, D. (2004). SATURN 10.5 User Manual. W.S. Atkins Planning Consultants Ltd.
- Vilarinho, C. (2008). Calibração de Modelos Microscópicos de Simulação de Tráfego em Redes Urbanas. Relatório de projeto submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil.